

**INFLUENCIA DE LAS ALTAS TEMPERATURAS EN EL VANEAMIENTO DE
DOS MATERIALES DE ARROZ (*Oryza sativa* L. subsp. *japónica*)**

SABA MAGDALENA ALFONSO MARTÍNEZ

**UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS
INGENIERÍA AGRONÓMICA
VILLAVICENCIO
2016**

**INFLUENCIA DE LAS ALTAS TEMPERATURAS EN EL VANEAMIENTO DE
DOS MATERIALES DE ARROZ (*Oryza sativa* L. subsp. *japonica*)**

SABA MAGDALENA ALFONSO MARTÍNEZ

**Trabajo de investigación como requisito parcial para optar por el título de
Ingeniera Agrónoma**

Directora

LINA MARÍA RAMOS MOLINA

Ing. Agrónoma, Ph.D.

Co-Director

HAROLD BASTIDAS LÓPEZ

Ing. Agrónomo, M.Sc.

UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

VILLAVICENCIO

2016

Los directores y jurados examinadores de este trabajo de pregrado, no serán responsables de las ideas emitidas por los autores del mismo.

Art. 24, Resolución No. 4 de 1994

Nota de aceptación

Director de tesis

I.A. Ph.D. Lina María Ramos Molina

Codirector

I.A. M.Sc. Harold Bastidas López

Jurado

I.A. M.Sc. Julián Cárdenas Hernández

Jurado

I.A. Esp. Álvaro Álvarez Socha

Villavicencio, 05 de Agosto del 2016.

PERSONAL DIRECTIVO

JAIRO IVAN FRIAS CARREÑO
Rector

DORIS CONSUELO PULIDO GONZALES
Vice-rector académico

JOSE MILTON PUERTO GAITAN
Secretario general

PAULO EMILIO CRUZ CASALLAS
Decano de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

JAIRO RINCON ARIZA
Director de Escuela de Ciencias Agrícolas

CARLOS ALBERTO HERRERA BAQUERO
Director del Programa de Ingeniería Agronómica

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a Dios quien me ha guiado en mi camino y me ha llenado de sabiduría y fortaleza para culminar este gran logro, además por regalarme una familia maravillosa.

Con todo mi amor a mis padres Néstor Alfonso y Saba Martínez quienes son los más preciado que tengo, por brindarme un hogar maravilloso, por el apoyo incondicional, por sus consejos y todos los esfuerzos realizados para dejarme esta gran herencia, mi educación.

A mi hermana Neidy Marisol Alfonso por brindarme su apoyo, comprensión y cariño.

A Adán Felipe Ardila por su apoyo incondicional y sus valiosos consejos.

Hoy culmina esta etapa y gracias a todos ustedes el camino se hizo más corto y llevadero, muchas gracias, los amo con todo mi corazón.

“La educación es el arma más poderosa para cambiar el mundo” Nelson Mandela.

AGRADECIMIENTOS

Mis sinceros agradecimientos:

A Dios por regalarme la vida y llenarme con sus dones para no desfallecer en todo este proceso.

A la empresa Semillano S.A.S. por brindarme la oportunidad de desarrollar este trabajo de investigación con ellos y por su financiación.

A la doctora Lina María Ramos un agradecimiento especial por creer en mis capacidades y por la dedicación, apoyo y enseñanzas recibidas a lo largo de este tiempo en la realización de este proyecto.

A los profesores de la Universidad de los Llanos por ser nuestros guías para la vida profesional.

A mis compañeros, amigos, familiares y cada una de las personas que de una u otra manera contribuyeron en mi formación como profesional.

A todos ellos, muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS.....	vii
TABLA DE CONTENIDO	viii
LISTA DE TABLAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
TABLA DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	2
2. OBJETIVOS.....	4
2.1. GENERAL.....	4
2.2. ESPECÍFICOS.....	4
3. REVISIÓN DE LITERATURA	5
3.1. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	5
3.1.1. Tipos de <i>Oryza sativa</i>	5
3.2. FENOLOGÍA DE LA PLANTA.....	6
3.2.1. Fase vegetativa.....	6
3.2.2. Fase reproductiva.....	7
3.2.3. Fase de madurez fisiológica.....	7
3.3. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA ALTA EN LA PRODUCCIÓN.....	8
3.3.1. Temperaturas críticas.....	9
3.3.2. Estrés causado por temperaturas altas.....	9
3.3.3. Estrés por altas temperaturas en la fase reproductiva.	10
4. METODOLOGÍA.....	12
4.1. AMBIENTE EXPERIMENTAL.....	12
4.2. DISEÑO EXPERIMENTAL	12
4.3. VARIABLES.....	13

4.3.1. Variables independientes.....	13
4.3.2. Variables intervinientes.....	13
4.3.3. Variables dependientes.....	13
4.4. EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES	14
4.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	14
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
5.1. MATERIAL JAPÓNICO PV 36.....	16
5.2. MATERIAL JAPÓNICO PV 48.....	23
6. CONCLUSIONES	32
6.1. RECOMENDACIÓN.....	33
REFERENCIAS BILIOGRÁFICAS	34
ANEXOS	37

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro comparativo de los grupos de arroz Indica, Javánica y Japónica .	6
Tabla 2. Efecto de la temperatura (°C) sobre el crecimiento y el desarrollo de la planta de arroz.	9
Tabla 3. Análisis de varianza del material de arroz japonico PV 36 bajo diferentes condiciones de temperatura, horas de exposición, estados de emergencia de la panícula y las interacciones entre ellas.	17
Tabla 4. Análisis de varianza del material de arroz japonico PV 48 bajo diferentes condiciones de temperatura, horas de exposición, estados de emergencia de la panícula y las interacciones entre ellas.	24

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano con relación a las diferentes temperaturas en el material PV 36.	18
Figura 2. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano con relación a los diferentes estados de emergencia de la panícula en el material PV 36.....	19
Figura 3. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano con relación a las diferentes horas de exposición a altas temperaturas en el material PV 36.	20
Figura 4. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano en la interacción Temperatura x Estado de emergencia de la panícula (T x F) en el material PV 36.	21
Figura 5. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano en la interacción Temperatura x Horas de exposición a altas temperaturas (T x H) en el material PV 36.	22
Figura 6. . Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano en la interacción Temperatura x Estado de emergencia de la panícula x horas de exposición a altas temperaturas (T x F x H) en el material PV 36.....	23
Figura 7. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano con relación a las diferentes temperaturas en el material PV 48.	25
Figura 8. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano con relación a los diferentes estados de emergencia de la panícula en el material PV 48.....	26
Figura 9. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano con relación a las diferentes horas de exposición a altas temperaturas en el material PV 48.	27
Figura 10. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano en la interacción Temperatura x Estados de emergencia de la panícula (T x F) en el material PV 48.	28
Figura 11. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano en la interacción Temperatura x Horas de exposición a altas temperaturas (T x H) en el material PV 48.	29

Figura 12. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano en la interacción Temperatura x Estados de emergencia de la panícula x Horas de exposición a altas temperaturas (T x F x H) en el material PV 48.....30

TABLA DE ANEXOS

Anexo 1. Manejo del cultivo.	37
Anexo 2. Estados de emergencia de la panícula y cámara de crecimiento vegetal	38
Anexo 3. Grano de arroz.	39
Anexo 4. Datos de las variables para el material PV 36.	40
Anexo 5. Datos de las variables para el material PV 48.	42
Anexo 6. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano con relación a las diferentes temperaturas en el material PV 36.	44
Anexo 7. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano con relación a los diferentes estados de emergencia de la panícula en el material PV 36.....	44
Anexo 8. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano con relación a las diferentes horas de exposición a altas temperaturas en el material PV 36.	44
Anexo 9. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano en la interacción Temperatura x Estado de emergencia de la panícula (T x F) en el materia PV 36.	45
Anexo 10. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano en la interacción Temperatura x Estado de emergencia de la panícula x horas de exposición a altas temperaturas (T x F x H) en el materia PV 36.	45
Anexo 11. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano en la interacción Temperatura x Horas de exposición a altas temperaturas (T x H) en el materia PV 36.	46
Anexo 12. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano con relación a las diferentes temperaturas en el material PV 48.	46
Anexo 13. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano con relación a los diferentes estados de emergencia de la panícula en el material PV 48.....	46

Anexo 14. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano con relación a las diferentes horas de exposición a altas temperaturas en el material PV 48.	47
Anexo 15. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano en la interacción Temperatura x Estados de emergencia de la panícula (T x F) en el materia PV 48.	47
Anexo 16. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano en la interacción Temperatura x Horas de exposición a altas temperaturas (T x H) en el materia PV 48.	47
Anexo 17. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano en la interacción Temperatura x Estados de emergencia de la panícula x Horas de exposición a altas temperaturas (T x F x H) en el material PV 48.....	48

RESUMEN

El cambio climático genera efectos en la agricultura, siendo la temperatura uno de los factores que influye en el desarrollo de cultivos como el arroz. Altas y bajas temperaturas por encima y por debajo de los límites críticos afectan el rendimiento del arroz ya que inciden sobre el macollaje, la formación de espiguillas y la maduración. El estado de desarrollo más sensible a las altas temperaturas es la floración, seguida de la etapa de “embuchamiento”. La alta temperatura en el caso del arroz, induce a un menor peso y mala calidad del grano, incrementando la esterilidad. Además, las altas temperaturas aumentan la tasa de respiración causando el agotamiento de la reserva de sacáridos y provocando acortamiento de la fase de llenado de grano. En el presente estudio se sometieron dos materiales de arroz de subespecie japónica a altas temperaturas en una cámara de germinación vegetal en la etapa de floración, en diferentes estados de emergencia de la panícula (inicio y mitad) durante 2 y 4 horas por 5 días. La temperatura fue el factor más influyente en los dos materiales de la subespecie japónica determinado como temperatura optima 35°C y temperatura critica 41°C donde se obtuvo el mayor vaneamiento y el menor peso de grano y porcentaje de granos llenos. Se obtuvo comportamiento diferente entre los materiales japónicos cuando se evaluaron las interacciones de estado de emergencia de la panícula y horas de exposición siendo la PV 36 la que presento diferencias significativas respecto a estos factores.

ABSTRACT

Climate change impacts on agriculture generate temperature being one of the factors influencing the development of crops like rice. High and low temperatures above and below the critical limits affect rice yields and impinging on tillering, spikelets formation and maturation. State more sensitive to high temperatures flowering development is followed by step "booting stage". The high temperature in the case of rice, induces a lower weight and poor grain quality, also increasing the sterility. Furthermore, high temperatures increase the rate of respiration causing the depletion of the saccharide and causing shortening of grain filling phase. In the present study two materials of japonica subspecies were subjected to high temperatures in a chamber of plant germination in the flowering stage, in different stages of panicle emergence (start and half) for 2 and 4 hours for 5 days. The temperature was the most influential in the two materials japonica subspecies factor determined as optimum temperature 35°C and 41°C critical temperature where the greatest vaneamiento and lower grain weight and percentage of filled grains was obtained. Different behavior between japónicos materials was obtained when the interactions of panicle emergency and hours of exposure were evaluated, being PV 36 which showed significant differences in these factors were evaluated.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El vaneamiento en el arroz es un problema que se ha venido presentando en los últimos años afectando gravemente las producciones en Colombia, alcanzando una disminución hasta del 60% en la productividad, generando grandes pérdidas económicas para los agricultores. Fue tan grande la incidencia de este problema que en el año 2011 el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) tuvo que declarar en emergencia fitosanitaria el territorio nacional por 6 meses (ICA, 2011).

Éste fenómeno del vaneamiento es atribuido a diferentes agentes causales considerándose que puede llegar a ser un complejo de ácaro-hongo-bacteria, *Steneotarsonemus spinki*, *sarocladium oryzae* y *Burkholderia glumae* respectivamente (FONTAGRO, 2011). Algunos autores como el ICA (2011) añaden a este complejo el cambio climático puesto que ha generado condiciones ambientales adversas al cultivo llegándose a pensar que es la principal causa del vaneamiento.

De acuerdo a investigaciones hechas por Castilla et al. (2010) los cambios en el clima tienen notables efectos en la agricultura de todo el mundo, debido a altas temperaturas, radiación solar, humedad relativa y baja precipitación. La alta temperatura en el caso del arroz, induce a un menor peso y mala calidad de grano, incrementando el vaneamiento. Estos autores también afirman que las altas temperaturas favorecen la proliferación de plagas y enfermedades, además de facilitar su dispersión entre regiones. Esta vulnerabilidad de las plantas conlleva a mayores costos de producción y a un menor rendimiento. Además de acuerdo a la comunidad científica, cuando la temperatura se eleva en 4 grados centígrados, genera estrés en la planta, por condiciones ambientales desfavorables. Estas condiciones de alta temperatura además de afectar la fisiología del cultivo de arroz, también afecta la productividad y fertilidad de los suelos, ya que estos van a tener altas pérdidas de agua por evaporación originando sequía en los suelos, requiriéndose una mayor eficiencia en el uso del agua de riego y lluvia. Otro parámetro que se verá afectado es la concentración de carbono en el suelo, por lo que es necesario de un manejo conservacionista de los recursos agua y suelo.

En Colombia, períodos de altas temperaturas, como los registrados durante el fenómeno del Niño a finales del 2009 y comienzos del 2010, ocasionaron un fuerte impacto negativo sobre la producción de arroz. Durante éste fenómeno, en la zona arrocería del Sur del Tolima se alcanzó un incremento promedio de la temperatura de más de tres grados, generando una disminución en los rendimientos del cultivo

hasta de un 50%. Todas las variedades de arroz sembradas en la zona se vieron afectadas por el incremento de las temperaturas máximas y mínimas, afectando la esterilidad del polen ocasionando un alto vaneamiento en la panícula del arroz (Castilla et al., 2010).

En arroz, la esterilidad de las espiguillas inducida por alta temperatura, se relaciona con disminución de la dehiscencia de la antera, menor dispersión del polen, reducida germinación de los granos de polen sobre el estigma y disminución de la elongación del tubo polínico (Prasad et al., 2006).

Aunque los cereales tienen un grado de tolerancia a las altas temperaturas en sus medios nativos, cuando se exceden ciertos límites se presentan alteraciones fisiológicas importantes, como desnaturalización de proteínas, alteraciones de la fluidez de membranas, inhibición en el transporte de electrones, entre otras, afectando el crecimiento, desarrollo y los rendimientos finales de cultivo (Sayed, 2003). Además, las altas temperaturas aumentan la tasa de respiración causando el agotamiento de la reserva de sacáridos y provocando acortamiento de la fase de llenado de grano (Mohammed y Tarpley, 2009). Sin embargo, las condiciones de altas temperaturas en la etapa de llenado de grano no resultan desfavorables para la calidad nutricional del arroz (Liang et al., 2011).

1.2. JUSTIFICACIÓN

El grado de tolerancia de un genotipo de arroz a altas temperaturas puede variar de acuerdo a la etapa de desarrollo que es sometida a estrés (Yoshida, 1981). En la época de floración y en menor proporción en embuchamiento son las etapas de desarrollo más susceptibles a los cambios de temperatura en arroz. Temperaturas superiores a 35°C durante el espigamiento del arroz incrementan significativamente la esterilidad de espiguillas (Yoshida, 1981).

La evaluación del arroz bajo condiciones controladas de altas temperaturas durante la etapa de antesis permite obtener un conocimiento acerca del efecto que generan éstas temperaturas en la fertilidad de las espiguillas de arroz, estudiando interacciones entre duración de la exposición y la temperatura sobre la fertilidad de las espiguillas. (Jagadish et al., 2007). Estudios realizados por Stake y Yoshida (1978) encontraron que cuando las plantas de arroz se expusieron a temperaturas altas durante 5 días consecutivos, la fertilidad de las espiguillas fue del 75% para las plantas sometidas a una temperatura de 35°C durante 4 horas; alrededor de 55% de fertilidad a 38°C por 4 horas y finalmente la fertilidad fue de un 15% cuando estas plantas estuvieron a 41°C durante 2 horas. q

El clima tropical cálido se considera otro factor responsable de los bajos rendimientos. Las altas temperaturas aumentan las pérdidas respiratorias y la producción neta de materia seca se disminuye como un equilibrio entre la fotosíntesis y la respiración. Los bajos rendimientos de arroz en el suroeste de Japón se atribuyeron a los climas cálidos (Yoshida, 1981).

2. OBJETIVOS

2.1. GENERAL

- Determinar el porcentaje de esterilidad que genera el estrés provocado por las altas temperaturas durante cinco días consecutivos en estado de emergencia de la panícula de arroz (*Oryza sativa* L. subsp. *japónica*)

2.2. ESPECÍFICOS

- Establecer la influencia que tiene el estrés por altas temperaturas durante el estado de emergencia de la panícula en el peso y llenado de grano.
- Evaluar como el tiempo de exposición de las plantas a alta temperatura pueden afectar el grano de arroz.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Según la clasificación taxonómica de Linneo (1753) la clasificación del arroz es la siguiente:

Reino: Plantae
Subreino: Tracheobionta
División: Magnoliophyta
Clase: Liliopsida
Subclase: Commelinidae
Orden: Poales
Familia: Poaceae
Subfamilia: Ehrhartoidea
Tribu: Oryzeae
Género: *Oryza*
Especie: *sativa*
Subespecie: japónica

3.1.1. Tipos de *Oryza sativa*

En la especie *Oryza sativa* L. se consideran tres grupos o tipos de arroz: indica, japónica y javánica o bulú (tabla 1). Su origen estaría en la selección hecha, bajo diferentes ambientes, del arroz silvestre en los procesos de domesticación (Chandler, 1979). El tipo indica y el tipo japónica fueron considerados subespecies de *Oryza sativa*, pero actualmente son razas ecogeográficas (Degiovanni et al., 2010). Los mismos autores resaltan las característica de los tres tipos de *Oryza sativa*: indica, japónica y javánica, de la siguiente forma:

- Las variedades tradicionales de tipo *indica* que se cultivan en los trópicos tienen las siguientes características: mayor altura que otras variedades, macollamiento denso, hojas largas e inclinadas de color verde pálido, y grano de mediano a largo. Estos granos tienen un contenido de amilosa entre medio y alto que les da un aspecto seco y blando, y los hace poco aptos para desintegrarse en la cocción.
- Las variedades de tipo *japónica* tienen hojas erectas de color verde intenso y una capacidad de macollamiento menor que las variedades de tipo indica. Las japónicas presentan una mayor respuesta al nitrógeno (medida en rendimiento), son insensibles al fotoperiodo y toleran más las bajas temperaturas que las

variedades de tipo *índicas*. Sus granos son cortos, anchos y su bajo contenido de amilosa, hace que sean pegajosos con tendencia a desintegrarse en la cocción.

- Las variedades de tipo *javánica* o *bulú* son morfológicamente similares a las del tipo *japónica*, pero sus hojas son más anchas y pubescentes, emiten pocas macollas, y la planta es fuerte y rígida. Estas variedades son insensibles al fotoperíodo y sus granos son aristados.

Tabla 1. Cuadro comparativo de los grupos de arroz Indica, Javánica y Japónica

CARÁCTERES MORFOLÓGICOS	ÍNDICA	JAVÁNICA	JAPÓNICA
Granos			
Largo/ancho	Fino	Largo	Corto
Arista	Ausente	Presente	Presente en cv. Nativos Ausente en cv. mejorados
Pubescencia de lema y pálea	Ausente	Densa	Densa
Descascarado	Fácil	Difícil	Difícil
Desgrane	Fácil		Difícil
Morfología			
Color de planta	Verde claro	Verde claro	Verde oscuro
Número de macollos	Alto	Bajo	Intermedio
Hábito de crecimiento de los macollos	Abierto	Erguido	Erguido
Altura de planta	Alta	Alta	Media
Textura del tejido vegetal	Dura		Suave
Fisiología			
Resistencia a bajas temperaturas	Baja	Alta	Alta
Resistencia a la sequía	Alta	Variable	Sensible
Sensibilidad al fotoperíodo	Baja		Alto
Vigor inicial	Alto		Bajo

Fuente: Olmos, 2006.

3.2. FENOLOGÍA DE LA PLANTA

3.2.1. Fase vegetativa.

Empieza con la germinación de la semilla y termina en la iniciación de la panícula (Degiovanni et al., 2010). Se caracteriza por un activo macollamiento,

enraizamiento, incremento de la altura de las plantas, y la emergencia de la hoja a intervalos regulares (Fageria, 2007). En el grupo Índica, el macollamiento es menos inhibido por la temperatura alta que en el grupo Japónica (Degiovanni et al., 2010).

3.2.2. Fase reproductiva.

Empieza con la diferenciación del primordio hasta la floración. La fase reproductiva comprende todo el desarrollo de la panícula (inflorescencia de la planta de arroz) dentro del tallo y su posterior emergencia en la etapa de espigamiento (Riveros y Rodríguez, 2010).

La fase reproductiva se caracteriza por un declinamiento del número de macollas, la emergencia de la hoja bandera (la última hoja), el engrosamiento del tallo por el crecimiento interno de la panícula, la emergencia de la panícula (ocurre a los 20 o 25 días luego de la diferenciación del primordio floral), y la floración (antesis). La antesis ocurre en general un día después de la emergencia de la panoja. Agronómicamente, se define a la emergencia cuando el 50% de las panojas han emergido al exterior de la vaina (Olmos, 2006).

Esta etapa se compone de formación de tamaño de la panícula o número de espiguillas por panícula. El tamaño potencial de rendimiento del cultivo es principalmente determinado en la fase reproductiva. Las condiciones ambientales adversas tales como la sequía, la baja radiación solar, baja o alta temperatura, la deficiencia de N y enfermedades pueden reducir el tamaño de la panoja y, por tanto, el rendimiento de grano (Counce et al. 2000).

3.2.3. Fase de madurez fisiológica.

Inicia en la floración y termina en la madurez fisiológica del grano. También se le denomina como llenado de grano y maduración (Fernández et al., 1985). El período de maduración de los granos varía de 15 a 40 días dependiendo de la temperatura. Se inicia luego que el ovario ha sido fertilizado y el grano de arroz comienza a crecer (Olmos, 2006).

El periodo de maduración se caracteriza por el crecimiento del grano, aumento en tamaño y peso, los cambios en el color del grano, y la senescencia de las hojas. En las primeras etapas de la maduración, los granos son de color verde; se vuelven de color amarillo a medida que maduran. La textura de los granos cambia de un estado lechoso, semilíquido a un sólido duro. Sobre la base de estos cambios el período de maduración se subdivide en lechoso, pastoso, madurez amarilla y estado de madurez (Yoshida, 1981).

Durante la etapa de maduración, la morfogénesis de la planta de arroz ya se ha completado. Los hidratos de carbono, proteínas, móviles y nutrientes minerales, se

han almacenado en las hojas, tallos y raíces de la planta (Fageria, 2007). Este hidrato de carbono acumulado se transloca a los granos en forma de almidón durante la maduración. La senescencia de las hojas comienza a partir de las hojas inferiores y se extiende hacia arriba a medida que la planta madura. La senescencia de las hojas es más rápida en índica que en arroces japónica (Yoshida, 1981)

En el trópico, una temperatura diurna de 29°C, en promedio, no resulta muy perjudicial (respecto a la producción de macollas y granos) cuando hay suficiente radiación solar. Por eso, las variedades de tipo índica se adaptan mejor a las temperaturas altas, mientras que las de tipo japónica necesitan temperaturas bajas para lograr una adecuada madurez del grano. Yoshida y Hara (1977) encontraron, en experimentos hechos bajo condiciones controladas, que la temperatura diaria promedio que requiere el llenado del grano del arroz de tipo índica (Fujisaka 5) está entre 20 y 27°C, mientras que la requerida por el arroz de tipo japónica (IR20) está entre 16 y 25°C.

La variación en el rendimiento de grano debido a los componentes del rendimiento está en el orden del número de panículas, esterilidad y peso de la espiguilla. Las panículas se determinan principalmente en la etapa de crecimiento vegetativo, el tamaño de la panícula se determina en la etapa de crecimiento reproductivo y el peso de la espiguilla y la esterilidad se determina en la etapa de llenado de las espiguillas o de maduración. Esto significa que cualquier tipo de estrés biótico o abiótico durante la fase vegetativa, reproductiva y llenado de espiguilla puede reducir el rendimiento del arroz. Sin embargo, la etapa de crecimiento reproductiva se considera más sensible al estrés ambiental, en comparación con las otras dos etapas de crecimiento (Fageria, 2007).

El vaneamiento del arroz se define según Tejada (2004) como la falta de llenado del grano o falta de fecundación de las espiguillas, por encima de cierto porcentaje crítico de vaneamiento natural, aceptable para la mayoría de las variedades y zonas productoras. Según el reporte del ICA en el año 2011, el vaneamiento se ha incrementado en las zonas productoras de arroz, como Magdalena, Meta, Tolima, Huila y Norte de Santander, debido principalmente a los cambios climáticos, el uso de semilla no certificada, el indebido uso de plaguicidas y el deficiente manejo agronómico del cultivo.

3.3. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA ALTA EN LA PRODUCCIÓN

La temperatura afecta el crecimiento y el desarrollo de la planta de arroz durante las distintas fases del desarrollo, la planta no responde a iguales rangos de temperatura; podría decirse que hay un rango favorable para cada fase (tabla 2).

La floración en plantas de arroz es muy sensible a los cambios de temperatura, donde la alta o baja temperatura puede afectar la fertilización y producción de semillas, por consiguiente el rendimiento del arroz (Das et al., 2014).

3.3.1. Temperaturas críticas.

Las temperaturas extremas causan serias perturbaciones en el desarrollo de la planta de arroz y, por ello, no favorecen el ambiente en que puede completarse el ciclo de vida de la planta. Las temperaturas críticas para la planta de arroz están, generalmente, por debajo de 20°C y por encima de 30°C, variando según el estado de desarrollo de la planta, la variedad de arroz, la duración del efecto de esa temperatura, el cambio de condiciones diurnas a nocturnas, y el estado fisiológico de la planta (Vargas, 2010). La tabla 2 muestra la variación de la temperatura crítica frente a las distintas fases de desarrollo de la planta.

Tabla 2. Efecto de la temperatura (°C) sobre el crecimiento y el desarrollo de la planta de arroz.

Crecimiento y desarrollo de la planta	Alta temperatura		Temperatura óptima
	Rango	Efecto	
Germinación	45	-	20-35
Emergencia de la plántula	35	-	25-30
Enraizamiento	35	-	25-28
Hoja	45	<i>Punta blanca, bandas cloróticas y manchas</i>	31
Macollamiento	33	<i>Reducido</i>	25-31
Iniciación de la panícula (primordio floral)	-	<i>Panoja blanca</i>	-
Diferenciación de la panícula	38	<i>Número reducido de espiguillas</i>	-
Antesis (floración)	35	<i>Esterilidad</i>	30-33
Maduración	30	<i>Menor llenado del grano</i>	20-25

Fuente: Chaudhary et al., 2003

3.3.2. Estrés causado por temperaturas altas.

Yoshida (1981) informa que las plantas de arroz expuestas a temperaturas superiores a 35 °C sufren daños dependiendo de su estado de desarrollo. Por ejemplo, durante la fase vegetativa se observan síntomas como punta blanca de la hoja, las bandas cloróticas, una reducción del macollamiento y una disminución de la altura de la planta. Cuando la temperatura sobrepasa los 35°C, en la antesis del

arroz, y esta exposición al calor pasa de 1 hora, se observa en las plantas un alto porcentaje de esterilidad.

Las altas y bajas temperaturas por encima y por debajo de los límites críticos afectan el rendimiento de grano ya que inciden sobre el macollamiento, formación de espiguillas y maduración. Las altas temperaturas causan estrés térmico sobre las plantas de arroz. En las primeras etapas de crecimiento, la temperatura del agua, afecta el rendimiento por su incidencia sobre el número de panículas por planta, número de espiguillas por panícula y porcentaje de granos que maduran. En las etapas posteriores la temperatura del aire afecta el rendimiento incidiendo sobre el porcentaje de espiguillas no fertilizadas y el porcentaje de granos que maduran. Un estrés de alta temperatura a 35°C o más, induce la esterilidad de la espiguilla y una temperatura a 38°C o más da lugar a una reducción del número de espiguillas (Chaudhary et al., 2003).

3.3.3. Estrés por altas temperaturas en la fase reproductiva.

Según trabajos realizados por Yoshida (1981) en ambientes controlados con temperaturas elevadas, durante la fase reproductiva aparecen síntomas como la panícula blanca, una reducción del número de granos y una mayor esterilidad; en la etapa de maduración se reduce el número de granos llenos por panícula. El mismo autor concluye que el estado de desarrollo del arroz más sensible a las temperaturas altas es la floración y la siguiente más sensible los 9 días anteriores a la salida de la panícula en la etapa de 'embuchamiento'. Durante la antesis, 1 ó 2 horas de temperatura alta aumenta definitivamente el porcentaje de esterilidad. Las altas temperaturas antes o después de la antesis tienen mucho menos efecto sobre la esterilidad.

La mayoría de cultivares de arroz desarrollan el proceso de apertura floral entre las 10.00 y las 13.00 h (Kobayasi y Atsuta, 2010). Las altas temperaturas en floración ocasionan una pobre dehiscencia de anteras y una baja producción de polen, y de allí que se presenta un bajo número de granos de polen que germinan en el estigma (Prasad et al., 2006).

En estudios realizados por Das et al. (2014) en donde evaluó a dos grupos de genotipos (Grupo-I de Ranjit, Pooja, y Swarna y el Grupo II del Annapurna, Khitish y Satabdi, que son adecuados para las condiciones de tierras bajas y altas, respectivamente) después de someter las plantas a seis diferentes regímenes de temperatura día/noche (25/15, 30/20, 35/25, 40/30, 45/35 y 50/40 °C) por tres días durante la iniciación de la panícula, encontró que se disminuyó la viabilidad del polen, en consecuencia la fertilidad de la espiguilla, en comparación con el tratamiento de temperatura de 25/15°C. Altas temperaturas superiores a 35/25°C afectó negativamente la excursión de la panícula, periodo de floración y número de espiguillas en antesis (abierto); hubo una disminución significativa en la viabilidad y la longitud del tubo de polen, dehiscencia de las anteras pobres y

reducción del número de polen sobre el estigma. El contenido de agua de polen disminuyó después de los regímenes de alta temperatura; las anteras absorben agua a través de las células del tapete y luego a través del lóculo. El contenido de agua de polen comenzó a disminuir, alcanzando el mínimo después del estrés a temperatura de 50/40°C. El contenido de agua de polen juega un papel importante durante la presentación y la fase de dispersión de polen.

El polen también muestra cambios significativos con los parámetros bioquímicos, incluyendo hidratos de carbono y metabolismo de las proteínas alterado. El contenido de la viabilidad y de la proteína de polen disminuyó después de los tratamientos de temperatura altas. La degeneración del tapete o disminución del metabolismo de los carbohidratos pueden influir en la nutrición de las células madre del polen, lo que lleva al polen a ser estéril (Hedhly, 2011).

Además, entre los efectos de la alta temperatura se encuentra la aceleración del proceso de maduración que en el caso del arroz es de 15 días lo cual conduce a un menor peso de grano, mala calidad de grano e incremento del vaneamiento (Castilla et al., 2010).

En las plantas C3 como es el caso del arroz, en condiciones de altas temperaturas, se aumenta la intensidad de la fotorrespiración y la tasa de fotosíntesis disminuye porque el CO₂ asimilado es similar al que pierden por fotorrespiración (Taiz y Zeiger, 2006). De esta manera cuando se aumenta la temperatura la solubilidad de CO₂ se disminuye, por lo que la enzima Rubisco tiene poco CO₂ para llevar a cabo la reacción de carboxilación y asimilar este CO₂ en el ciclo de Calvin, sin embargo, a elevadas temperaturas el O₂ está más disponible que el CO₂, por lo que la Rubisco se dedica a las reacciones de oxigenación, iniciando la fotorrespiración en lugar de la fotosíntesis. El aumento de la tasa de respiración ocasiona una disminución de los fotoasimilados disponibles por la planta para su crecimiento y producción (Peng et al., 2004).

4. METODOLOGÍA

4.1. AMBIENTE EXPERIMENTAL

El desarrollo del proyecto se realizó en las instalaciones de Semillano S.A.S. ubicado en la zona urbana del municipio de Villavicencio – Meta a un altitud de 425 msnm, con coordenadas 4° 7'36.89" latitud Norte, 73°37'17.69" longitud Oeste. Las condiciones climáticas de la zona corresponden a una temperatura promedio de 25.5°C, al medio día temperatura máxima media entre 28 y 32°C y en la madrugada temperatura mínima entre 20 y 22°C, presenta una humedad relativa entre 67 y 83% y un promedio de lluvia total anual de 4383 mm (IDEAM).

Para la siembra de los materiales se utilizaron bolsas de plástico para semillero de 33cm de alto x 14cm de diámetro, éstas se llenaron con suelo negro mezclado con cascarilla quemada a una proporción de 2:1 respectivamente. Se sembraron 3 semillas por bolsa y luego se hizo un raleo dejando solo 1 plántula. El riego se realizó de forma manual dependiendo de la humedad del suelo. La fertilización se hizo de forma edáfica conforme a la aplicación de un cultivo de arroz comercial. El control de arvenses se ejecutó manualmente a todas las plantas cada 8 días (anexo 1).

Las plantas fueron situadas en un invernadero a libre exposición y en la etapa de anthesis específicamente en el inicio y mitad de la emergencia de la panícula fueron transportadas a una cámara de crecimiento vegetal donde se sometieron a diferentes temperaturas, allí se dejaron por un término de 2 y 4 horas durante 5 días entre las 9 am y 1 pm, periodo en el cual las plantas de arroz realizan su polinización. Luego de esto las plantas se dispusieron nuevamente al invernadero hasta completar el resto del ciclo del cultivo (anexo 2).

Se cosecharon las panículas 90 días después de germinadas (ddg) las plantas, que es el momento donde termina su ciclo de vida.

4.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

El proyecto se realizó en un diseño completamente al azar, con arreglo en parcelas divididas. Se evaluaron dos materiales de arroz japonico por separado para observar el comportamiento de cada uno.

Materiales japónicos

- PV 36
- PV 48

La unidad experimental fue 1 planta de arroz, cada tratamiento tenía cinco (5) repeticiones, la temperatura testigo sólo tuvo tratamiento de 4 horas de exposición, para un total de 70 datos. Debido a que son diferentes temperaturas de exposición y diferentes estados de emergencia de la panícula (anexo 3), se realizaron siembras escalonadas para colocar las plantas en la cámara de crecimiento vegetal.

4.3. VARIABLES

4.3.1. Variables independientes.

- Temperatura en la etapa de antesis (32(testigo), 35, 38 y 41°C).
- Horas de exposición (2 y 4 horas).
- Estado de emergencia de la panícula (inicio y mitad)

4.3.2. Variables intervinientes.

- Germinación.
- Suelo.
- Riego.
- Clima (temperatura, humedad relativa, luminosidad,)
- Manejo de arvenses, insectos plaga y enfermedades.

4.3.3. Variables dependientes.

- Número de granos llenos y granos vanos por panícula.
- Número de granos inmaduros.
- Peso por grano.

4.4. EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES

La evaluación de las variables se realizó teniendo en cuenta que el total de granos por panícula es la suma de los granos llenos, granos vanos y granos inmaduros (anexo 3). El porcentaje de vaneamiento es el total de granos vanos por panícula sobre granos totales por panícula multiplicado por 100. El peso de un grano es el peso de los granos llenos dividido en el número de granos llenos.

4.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos se analizaron con un análisis de varianza (GLM) y una prueba de comparación de medias de DUNCAN. El análisis estadístico se realizó en el programa SAS. El modelo lineal utilizado para este diseño completamente al azar en parcelas divididas es el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + \varepsilon_{il} + F_j + H_k + F_jH_k + T_iF_j + T_iH_k + T_iF_jH_k + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = una observación.

μ = media poblacional.

T_i = efecto del i-ésimo nivel del factor T (Temperatura).

ε_{il} = error experimental de la parcela mayor (ε_T).

F_j = efecto del j-ésimo nivel del factor F (Estado de emergencia de la panícula).

H_k = efecto del k-ésimo nivel del factor H (Horas de exposición).

F_jH_k = efecto del j-ésimo nivel del factor F, con el k-ésimo nivel del factor H (interacción Estado de emergencia de la panícula x Horas de exposición).

T_iF_j = efecto del i-ésimo nivel del factor T, con el j-ésimo nivel del factor F (interacción Temperatura x Estado de emergencia de la panícula).

T_iH_k = efecto del i-ésimo nivel del factor T, con el k-ésimo nivel del factor H (interacción Temperatura x Horas de exposición).

$T_iF_jH_k$ = efecto del i-ésimo nivel del factor T, con el j-ésimo nivel del factor F, con el k-ésimo nivel del factor H (interacción Temperatura x Estado de emergencia de la panícula x Horas de exposición).

ε_{ijkl} = error experimental de la parcela menor ($\varepsilon_F + \varepsilon_H$)

Las hipótesis a probar fueron:

H_0 : 32 = 35 = 38 = 41 (temperaturas)

2 = 4 (horas de exposición)

Inicio = Mitad (emergencia de la panícula)

(T x F): 32-inicio = 32-mitad = 35-inicio = 35-mitad = 38-inicio = ... = 41-mitad

(T x H): 32-4 = 35-2 = 35-4 = 38-2 = 38-4 = 41-2 = 41-4

(F x H): inicio-2 = inicio-4 = mitad-2 = mitad-4

(T x F x H): 32-inicio-4 = 32-mitad-4 = 35-inicio-2 = 35-inicio-4 = ... = 41-mitad-4

H_i : 32 \neq 35 \neq 38 \neq 41

2 \neq 4

Inicio \neq Mitad

(T x F): 32-inicio \neq 32-mitad \neq 35-inicio \neq 35-mitad \neq 38-inicio \neq ... \neq 41-mitad

(T x H): 32-4 \neq 35-2 \neq 35-4 \neq 38-2 \neq 38-4 \neq 41-2 \neq 41-4

(F x H): inicio-2 \neq inicio-4 \neq mitad-2 \neq mitad-4

(T x F x H): 32-inicio-4 \neq 32-mitad-4 \neq 35-inicio-2 \neq 35-inicio-4 \neq ... \neq 41-mitad-4

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. MATERIAL JAPÓNICO PV 36

En el análisis de varianza (tabla 3) podemos observar que con relación al peso del grano se presenta una diferencia altamente significativa cuando fue sometido a diferentes temperaturas y una diferencia significativa frente a las interacciones Temperatura x Estado de emergencia de la panícula (T x F), Estado de emergencia de la panícula x Horas de exposición (F x H) y Temperatura x Estado de emergencia de la panícula x Horas de exposición (T x F x H). No hubo diferencias significativas en cuanto a las diferentes horas de exposición y a diferentes estados de emergencia de la panícula. El coeficiente de variación fue de 18,45%.

Con relación al porcentaje de granos llenos, observamos que hay diferencias altamente significativas entre las temperaturas, los estados de emergencia de la panícula y en la interacción Temperatura x Estado de emergencia de la panícula (T x F). Existe diferencia significativa entre la interacción Temperatura x Horas de exposición (T x H) y en la interacción Temperatura x Estado de emergencia de la panícula x Horas de exposición (T x F x H). No se presentó diferencias significativas entre las horas de exposición del material ni en la interacción Estado de emergencia de la panícula x Horas de exposición (F x H). El coeficiente de variación fue de 25%.

En el porcentaje de granos vanos se presentó una diferencia altamente significativa entre las distintas temperaturas, diferentes estados de emergencia de la panícula, en la interacción Temperatura x Estado de emergencia de la panícula (T x F) y cuando fueron comparados los 3 factores Temperaturas, Estados de emergencia de la panícula y Horas de exposición (T x F x H). Se observó diferencias significativas en la interacción Temperatura con las Horas de exposición (T x H) y no se presentó diferencias significativas entre los factores de horas de exposición ni en la interacción Estado de emergencia de la panícula x Horas de exposición (F x H). El coeficiente de variación es de 15,72%.

El porcentaje de granos inmaduros presenta diferencias altamente significativas cuando las plantas fueron sometidas a diferentes temperaturas y en la interacción Temperatura x Estado de emergencia de la panícula (T x F). Para todos los otros factores no se presentaron diferencias significativas. Debido a que el coeficiente de variación en los granos inmaduros presento un valor de 50,61%, no se tuvo en cuenta este factor en los análisis posteriores.

Tabla 3. Análisis de varianza del material de arroz japonico PV 36 bajo diferentes condiciones de temperatura, horas de exposición, estados de emergencia de la panícula y las interacciones entre ellas.

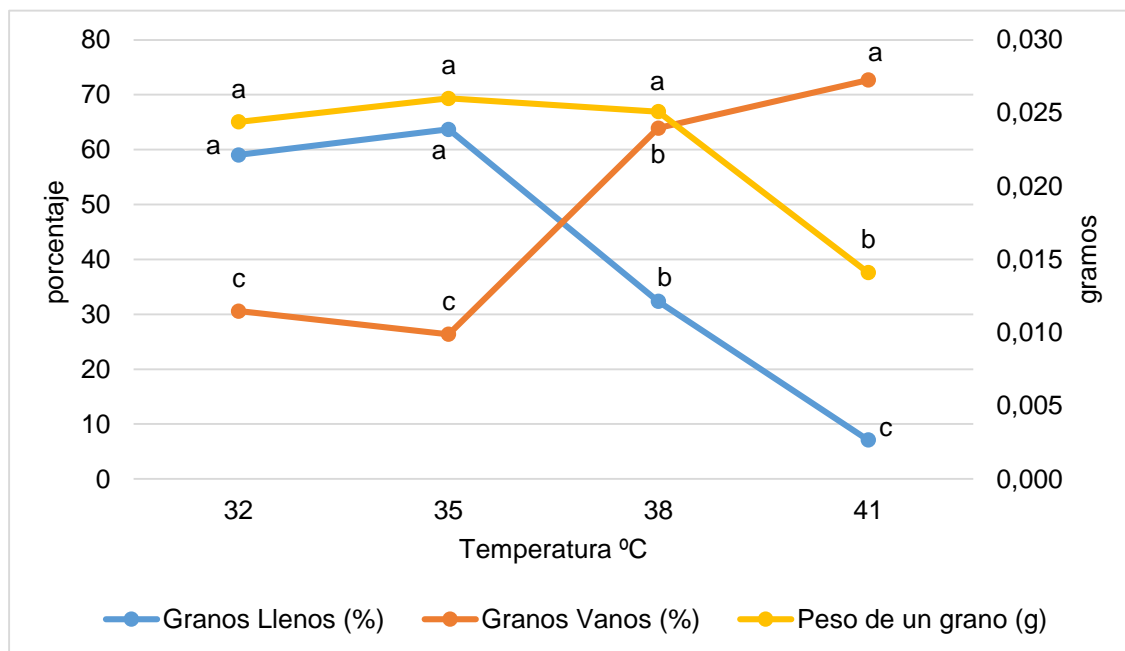
Fuente de Variación	GL	Cuadrados Medios			
		Peso de un Grano(g)	Granos Llenos (%)	Granos Vanos (%)	Granos Inmaduros (%)
Temperatura (T)	3	0,0006099**	12340,425**	9670,661**	928,181**
Error T	16	0,0000037 ^{ns}	108,195 ^{ns}	124,433*	64,969*
Emergencia (F)	1	0,0000003 ^{ns}	1620,489**	972,411**	83,385 ^{ns}
Tiempo (H)	1	0,0000160 ^{ns}	38,56 ^{ns}	133,803 ^{ns}	28,428 ^{ns}
T x H	2	0,0000353 ^{ns}	346,026*	305,267*	7,504 ^{ns}
T x F	3	0,0000633*	1698,258**	301,418**	801,369**
F x H	1	0,0001148*	36,037 ^{ns}	0,523 ^{ns}	44,548 ^{ns}
T x F x H	2	0,0000789*	386,046*	617,285**	48,523 ^{ns}
Error	40	0,0000167	90,68	64,083	31,879
CV		18,449	25,1158	15,717	50,606

**Diferencias altamente significativas, *Diferencias significativas, ^{ns}Diferencias no significativas. CV= coeficiente de variación.

En la figura 1, para el caso peso de un grano, la prueba de Duncan presenta diferencias significativas entre las diferentes temperaturas, siendo las temperaturas 32, 35 y 38°C semejantes entre ellas (con valores entre 0,024gr y 0,026gr), presentando un mayor peso de grano. Este valor es significativamente diferente y superior al presentado por los granos de arroz cuando fueron sometidos a temperaturas de 41°C obteniendo un valor de 0,014 g.

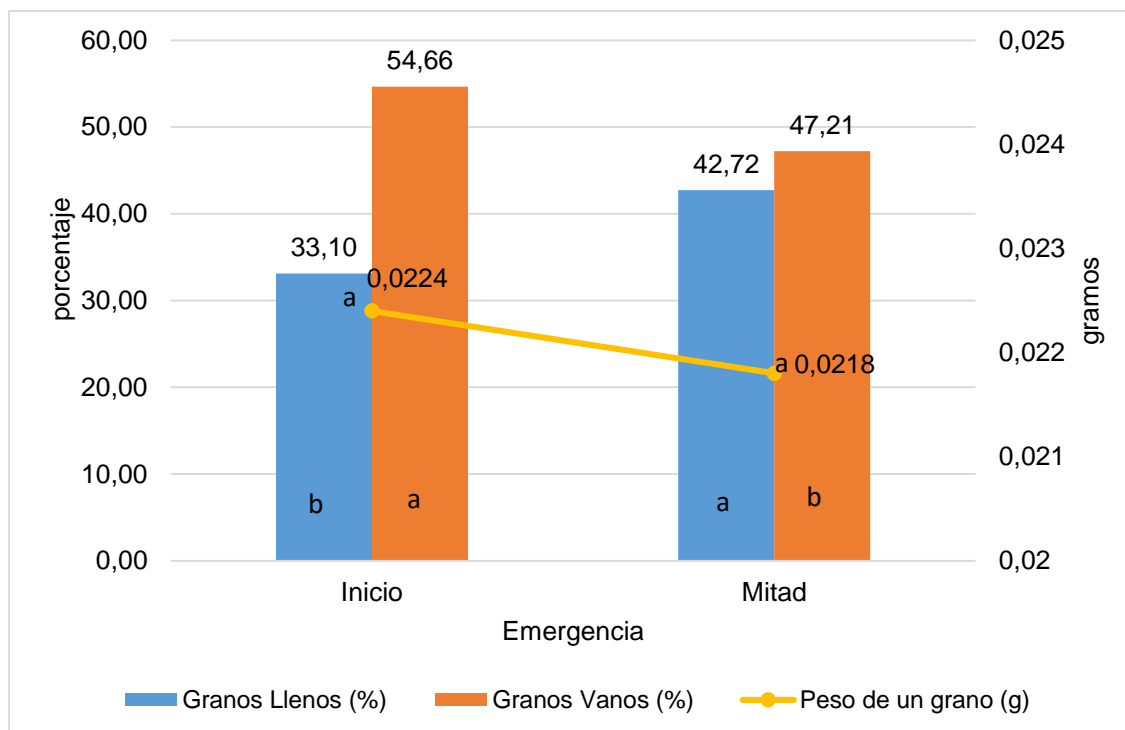
Se observa un comportamiento semejante entre los granos llenos y granos vanos, donde es posible observar que las temperaturas de 32 y 35°C no presentaron diferencias significativas entre ellas y se observa que en estas 2 temperaturas se obtiene mayor porcentaje de granos llenos (59,05 y 63,7% respectivamente) y un menor porcentaje de granos vanos (30,59 y 26,35% respectivamente). Para el caso de la temperatura más alta (41°C) si hubo una diferencia significativa con relación a las otras temperaturas observándose un porcentaje bajo de llenado de grano (7,1%) y un alto porcentaje de granos vanos (72,68%).

Figura 1. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano con relación a las diferentes temperaturas en el material PV 36.



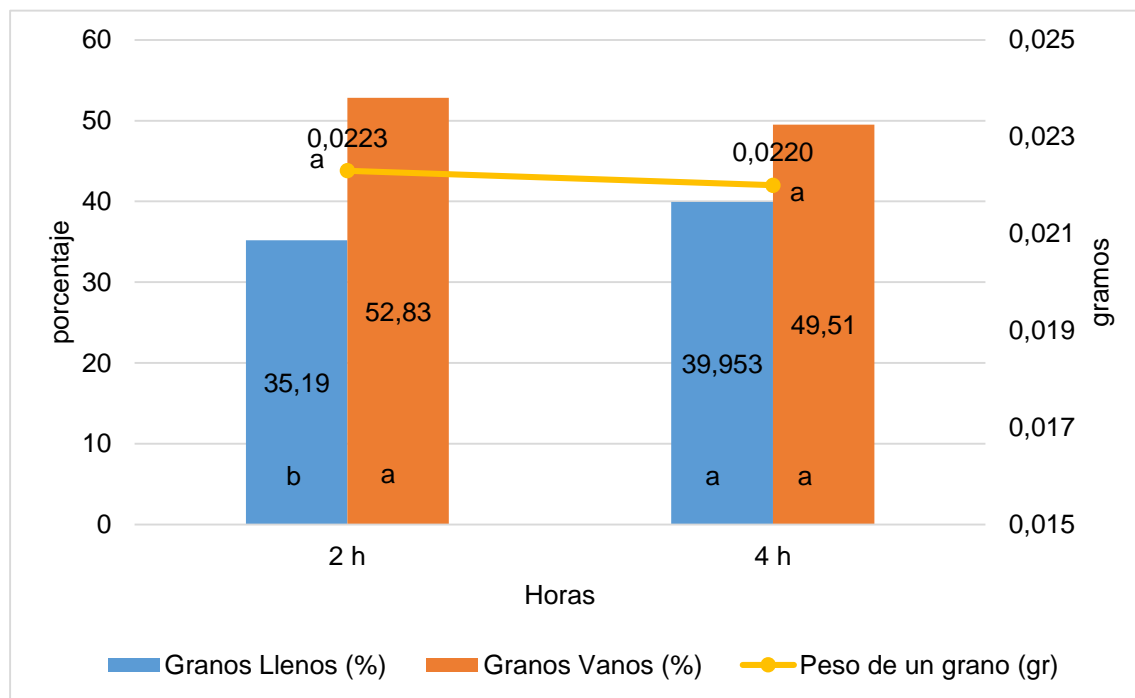
En la figura 2 fueron analizados los diferentes estados de emergencia de la panícula, donde según la prueba de Duncan no presentó diferencias significativas de estos estados en cuanto al peso de un grano. Con relación a los porcentajes de granos llenos y vanos es posible observar una diferencia significativa en los 2 estados de emergencia de la panícula, cuando se expuso a la mitad de su emergencia se observó un mayor porcentaje de granos llenos (42,72%) y menor porcentaje de granos vanos (47,21%).

Figura 2. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano con relación a los diferentes estados de emergencia de la panícula en el material PV 36.



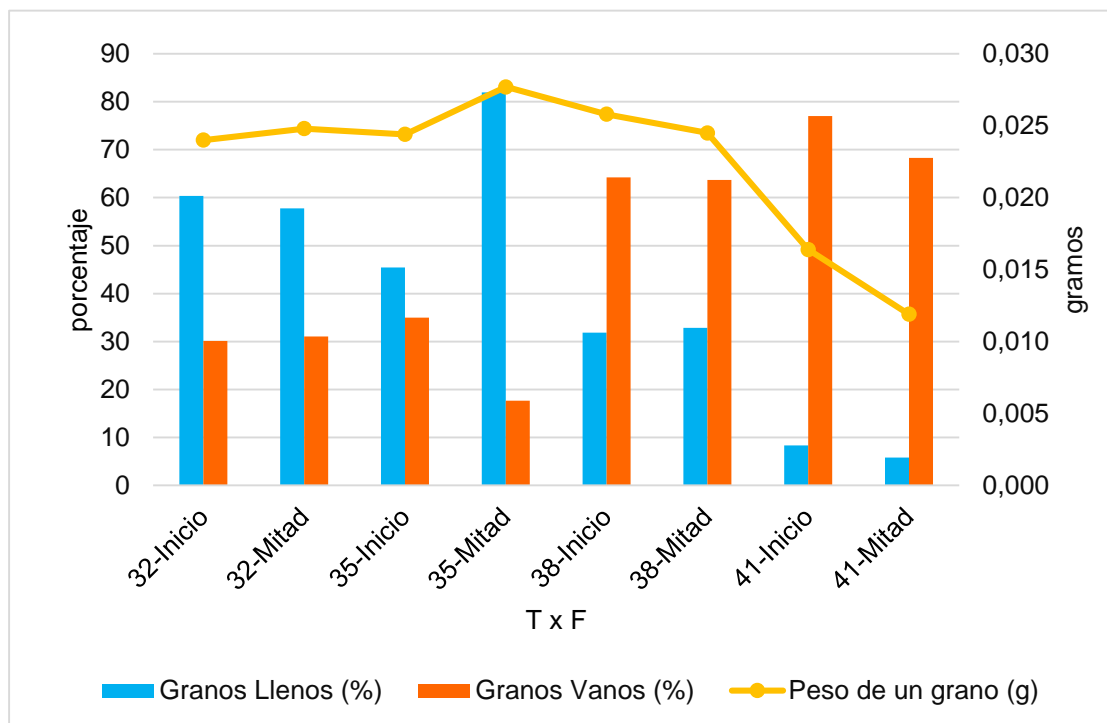
Al analizar la figura 3 nos damos cuenta que el tiempo de exposición de las plantas según la prueba de Duncan no presenta diferencias entre las medias en el peso de un grano y porcentaje de granos vanos. Para el porcentaje de granos llenos se presenta una diferencia de medias entre el tiempo de exposición de 2 horas y 4 horas (35,19 y 39,95% respectivamente).

Figura 3. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano con relación a las diferentes horas de exposición a altas temperaturas en el material PV 36.



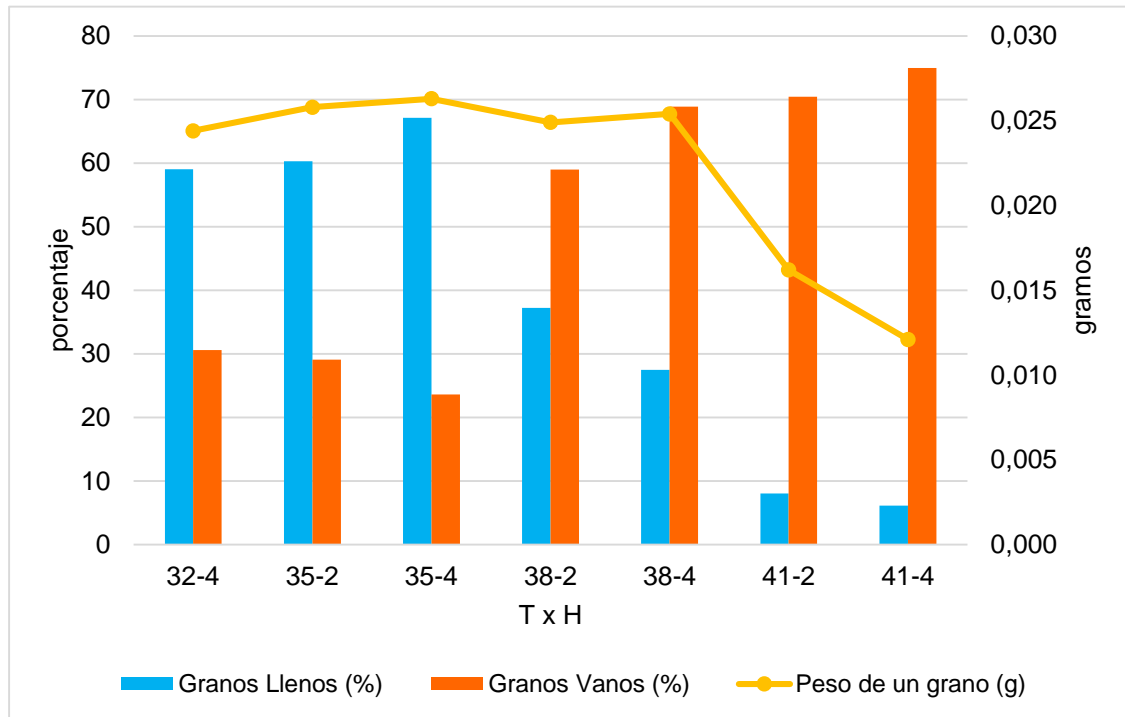
En la interacción Temperatura x Estado de emergencia de la panícula (T x F) (figura 4) podemos observar que a temperatura de 35°C y a mitad de la emergencia de la panícula se presenta el mayor peso de un grano (0,027 g), mayor porcentaje de granos llenos (81,95%) y un menor porcentaje de granos vanos (17,71%). Situación diferente se puede observar cuando las plantas están a una temperatura de 41°C y a mitad de la emergencia de la panícula donde se presenta el menor peso de grano (0,012 g), menor porcentaje de granos llenos (5,84%) y uno de los mayores porcentajes de granos vanos (68,32%).

Figura 4. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano en la interacción Temperatura x Estado de emergencia de la panícula (T x F) en el material PV 36.



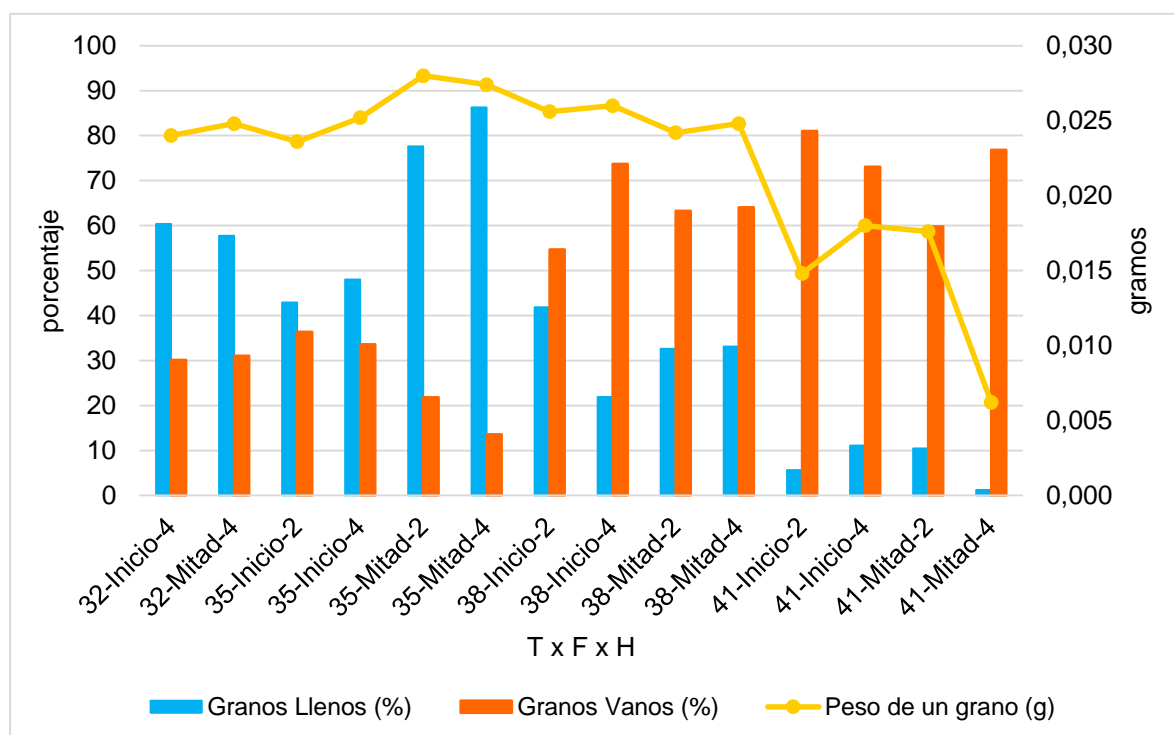
En la figura 5 para el caso de la interacción Temperatura x Horas de exposición (T x H) analizamos que cuando las plantas se encontraban a 35°C y a 4 horas de exposición, los granos de arroz presentaron mayor peso (0,026 g), mayor porcentaje de granos llenos (67,13%) y menor porcentaje de granos vanos (23,61%). Comportamiento contrario mostró cuando presentaba una temperatura de 41°C y 4 horas de exposición donde fue menor el peso de un grano (0,012 g), menor porcentaje de granos llenos (6,15%) y mayor porcentaje de granos vanos (74,94%).

Figura 5. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano en la interacción Temperatura x Horas de exposición a altas temperaturas (T x H) en el material PV 36.



En la figura 6 según la prueba de Duncan para el caso de la interacción de los tres factores (T x F x H) la combinación correspondiente a 35°C con mitad de emergencia de la panícula y 4 horas de exposición de las plantas a estas condiciones el peso del grano de arroz fue uno de los mayores (0,027 g), así como el mayor porcentaje de granos llenos (86,26%) y menor porcentaje de granos vanos (13,58%). Cuando la temperatura fue de 41°C, la panícula estaba en la mitad de su emergencia y con un tiempo de exposición de 4 horas el comportamiento fue inverso, presentando los menores valores para el peso de un grano (0,006 g) y el porcentaje de granos llenos (1,22%) y el valor más alto para el porcentaje de granos vanos (76,82%).

Figura 6. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano en la interacción Temperatura x Estado de emergencia de la panícula x horas de exposición a altas temperaturas (T x F x H) en el material PV 36.



5.2. MATERIAL JAPÓNICO PV 48

En el análisis de varianza (tabla 4) se observa que el material japonés PV 48 presenta una diferencia muy marcada principalmente para el factor temperatura. Esto se puede determinar dado que todas las variables en estudio (peso de un grano, porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y el porcentaje de granos inmaduros) presentaron un efecto altamente significativo. De todas las variables, el peso de un grano mostró una mayor susceptibilidad a todos los factores en estudio, observándose diferencias altamente significativas con relación al tiempo de exposición de los materiales y en la interacción Temperatura x Horas de exposición (T x H). Solamente hubo diferencia significativa, cuando las plantas fueron sometidas a diferentes temperaturas y estados de emergencia de la panícula. El coeficiente de variación fue de 22,67%.

Para el resto de las variables, porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y porcentaje de granos inmaduros, en términos generales no se presentaron diferencias significativas cuando se compararon los factores estado de emergencia de las panículas y horas de exposición. De igual manera, tampoco se observó diferencias significativas en la mayoría de las interacciones entre los diferentes factores. Solamente se presentaron diferencias significativas en la interacción Estado de emergencia de la panícula x Horas de exposición (F x H) para las variables porcentaje de granos llenos y porcentaje de granos vanos. Del mismo modo se presentó diferencia altamente significativa en la interacción Temperatura x Estado de emergencia de la panícula (T x F) para la variable granos inmaduros. El coeficiente de variación para las variables porcentaje de granos llenos, granos vanos y granos inmaduros fue de 26,07, 29,76 y 62,58% respectivamente. Debido a que el coeficiente de variación para el porcentaje de granos inmaduro fue muy alto, no se tuvo en cuenta para los análisis posteriores.

Tabla 4. Análisis de varianza del material de arroz japonico PV 48 bajo diferentes condiciones de temperatura, horas de exposición, estados de emergencia de la panícula y las interacciones entre ellas.

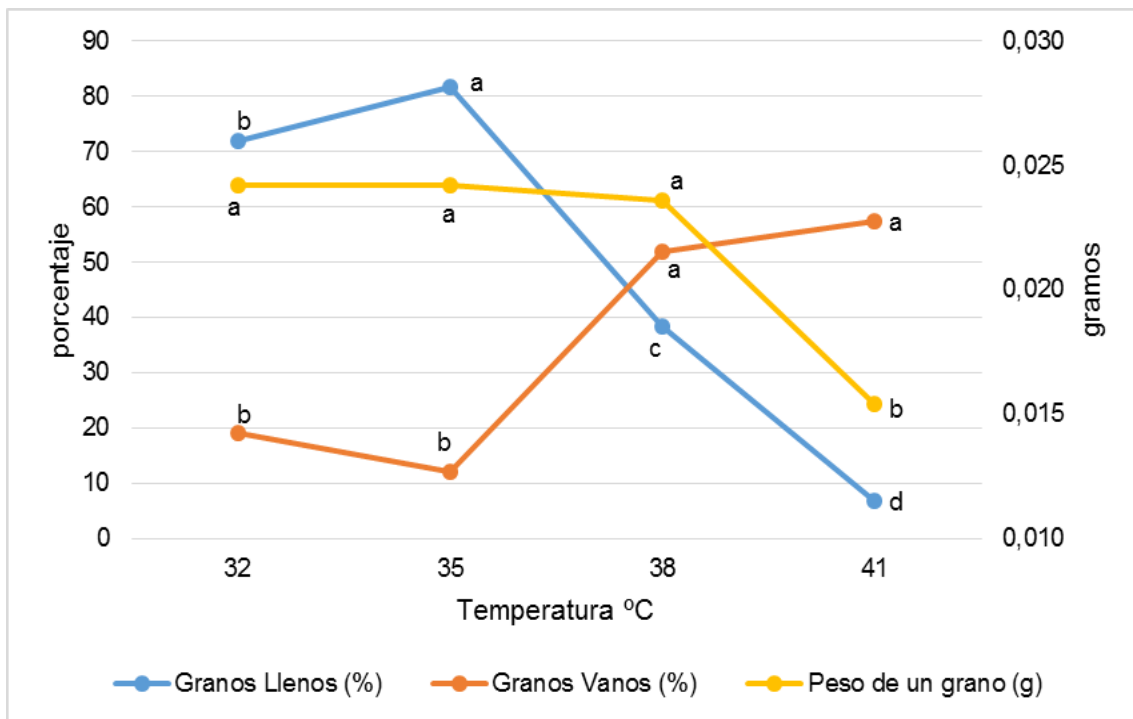
Fuente de Variación	GL	Cuadrados Medios			
		Peso de un Grano(g)	Granos Llenos (%)	Granos Vanos (%)	Granos Inmaduros (%)
Temperatura (T)	3	0,000384**	21140,967**	8953,840**	3534,928**
Error T	16	0,000007 ^{ns}	73,078 ^{ns}	122,169 ^{ns}	108,539 ^{ns}
Emergencia (F)	1	0,000009 ^{ns}	314,037 ^{ns}	122,250 ^{ns}	44,786 ^{ns}
Tiempo (H)	1	0,000229**	193,952 ^{ns}	67,860 ^{ns}	31,613 ^{ns}
T x H	2	0,000216**	86,155 ^{ns}	195,790 ^{ns}	36,100 ^{ns}
T x F	3	0,000076 *	306,946 ^{ns}	237,274 ^{ns}	681,342**
F x H	1	0,000003 ^{ns}	623,101*	598,881*	0,231 ^{ns}
T x F x H	2	0,000028 ^{ns}	398,028 ^{ns}	268,906 ^{ns}	67,175 ^{ns}
Error	38	0,000024	148,404	12109	104,018
CV		22,6712	26,072	29,76	62,576

**Diferencias altamente significativas, *Diferencias significativas, ^{ns}Diferencias no significativas. CV= coeficiente de variación.

En la figura 7 podemos observar que para el caso del factor temperatura, la prueba de Duncan presento que cuando las plantas fueron sometidas a 32, 35 y 38°C no hay diferencias significativas para la variable peso de un grano, presentando un peso promedio entre 0,024 g. Cuando la temperatura aumentó a 41°C, el peso del grano disminuyo significativamente pasando a tener un peso aproximadamente de 0,015 g. Igualmente hay diferencias significativas en el

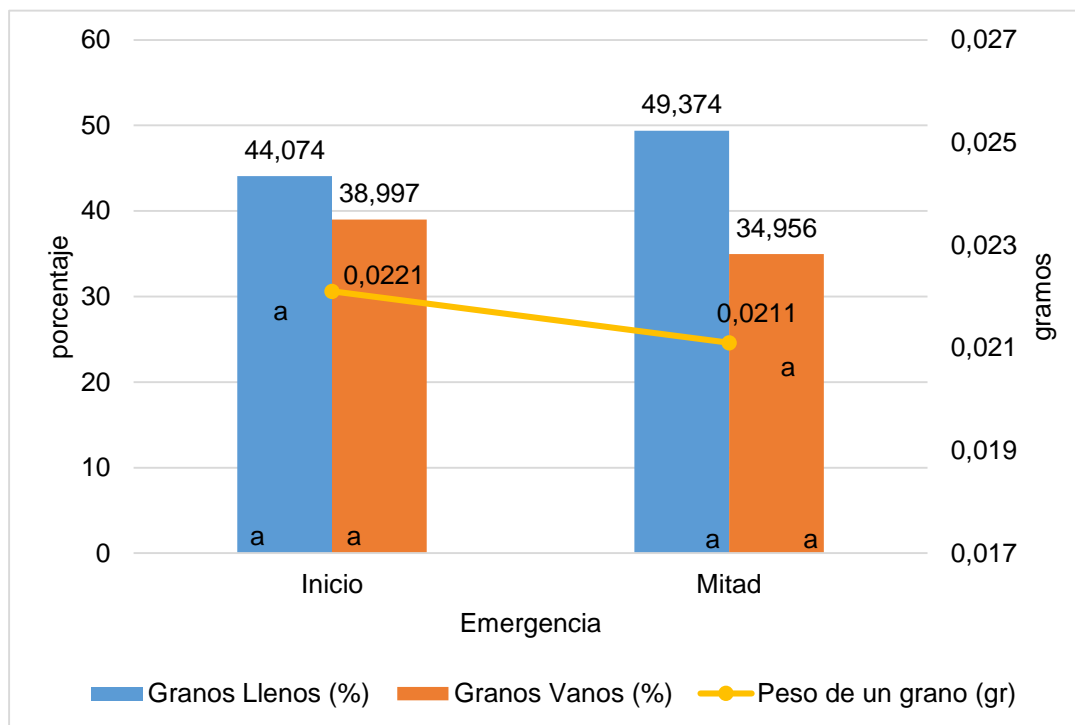
porcentaje de granos llenos, presentando el mayor porcentaje a 35°C (81,59%) y el menor porcentaje a 41°C con un valor de 6,87%. Para la variable porcentaje de granos vanos es posible observar que a 35°C existe un menor porcentaje de granos vanos (12,08%) y a una temperatura de 41°C el porcentaje es alto (57,4%).

Figura 7. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano con relación a las diferentes temperaturas en el material PV 48.



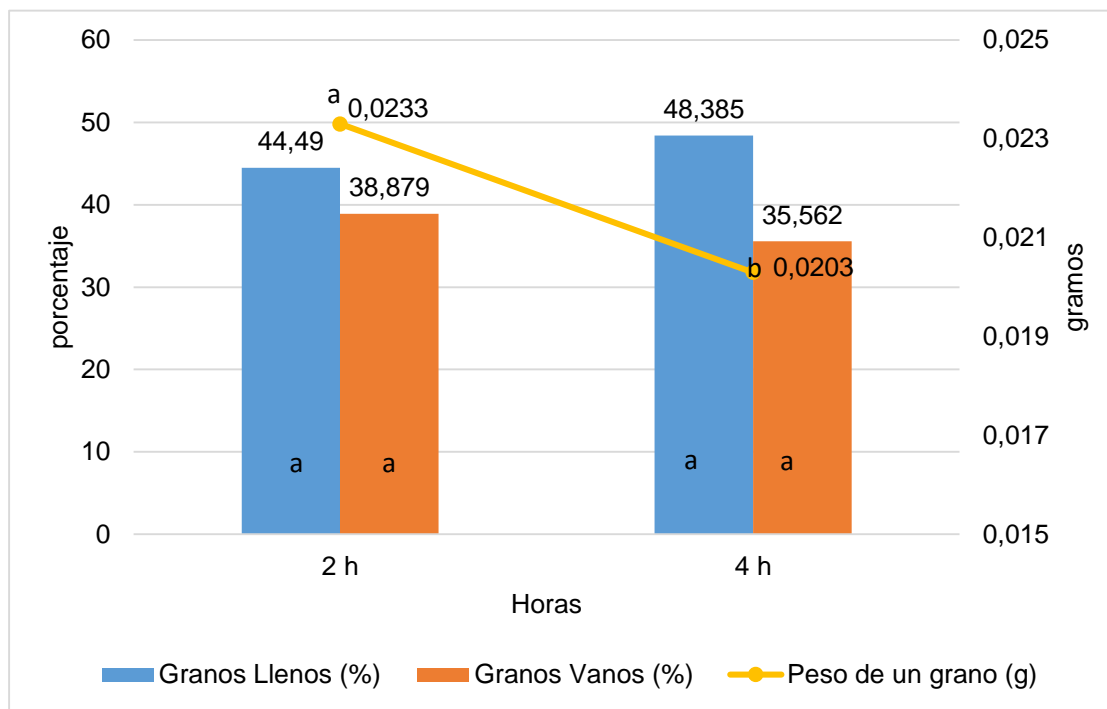
Según la prueba de Duncan en la comparación de medias para el estado de emergencia de la panícula se observa que no hay diferencias significativas entre las variables evaluadas (figura 8).

Figura 8. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano con relación a los diferentes estados de emergencia de la panícula en el material PV 48.



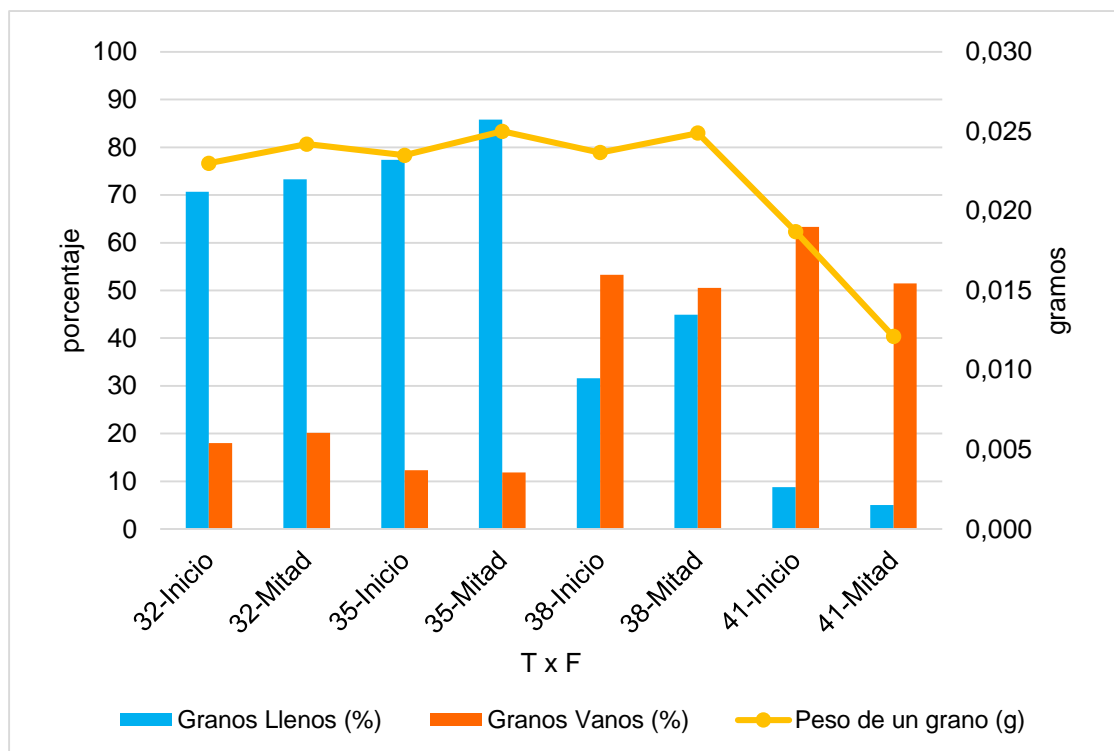
En la figura 9 según la prueba de Duncan podemos observar que la variable peso de un grano fue la única que presentó diferencias entre las 2 y 4 horas de exposición, presentando un mayor peso (0,023 g) cuando se sometieron las plantas por 2 horas.

Figura 9. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano con relación a las diferentes horas de exposición a altas temperaturas en el material PV 48.



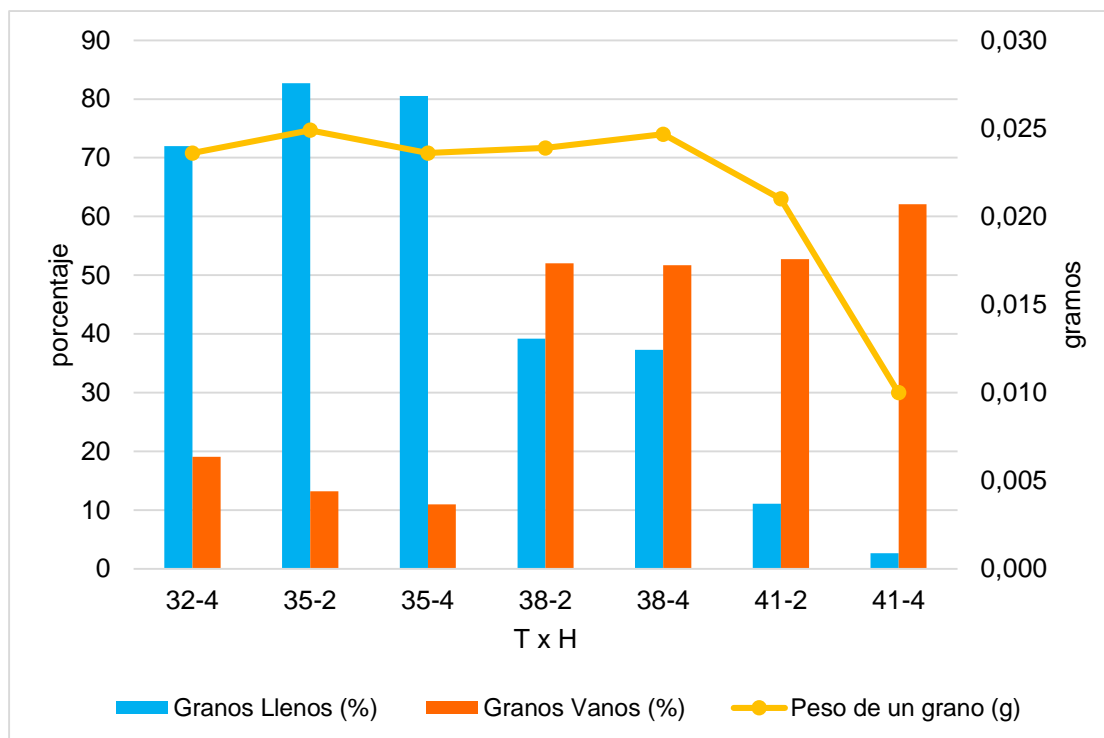
Al analizar la interacción Temperatura x Estado de emergencia de la panícula (T x F) en la figura 10, encontramos que cuando las plantas estuvieron a 35°C con una emergencia a la mitad de la panícula, presentaron el mayor peso de un grano (0,025 g), mayor porcentaje de granos llenos (85,83%) y menor porcentaje de granos vanos (11,84%). Cuando la temperatura aumenta a 41°C con la mitad de emergencia de la panícula, el peso de un grano disminuyó a 0,012 g al igual que el porcentaje de granos llenos reduciéndose a un 5% y se presentó un incremento en el porcentaje de granos vanos llegando a un 51,48%.

Figura 10. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano en la interacción Temperatura x Estados de emergencia de la panícula (T x F) en el material PV 48.



En la interacción Temperatura x Horas de exposición de las plantas (T x H) (figura 11), se observa que a una temperatura de 35°C durante 2 horas de exposición, el peso del grano fue el más alto, siendo este valor de 0,025 g, así como el porcentaje de granos llenos fue de 82,68% y el porcentaje de granos vanos fue uno de los menores correspondiendo este valor a 13,2%. Caso contrario sucedió al aumentar la temperatura a 41°C durante 4 horas, condiciones que afectan el peso del grano haciendo que este disminuya a 0,01 g, así como se disminuye el porcentaje de granos llenos siendo este valor de 2,65% y se produce un aumento en el porcentaje de granos vanos hasta en un 62,09%.

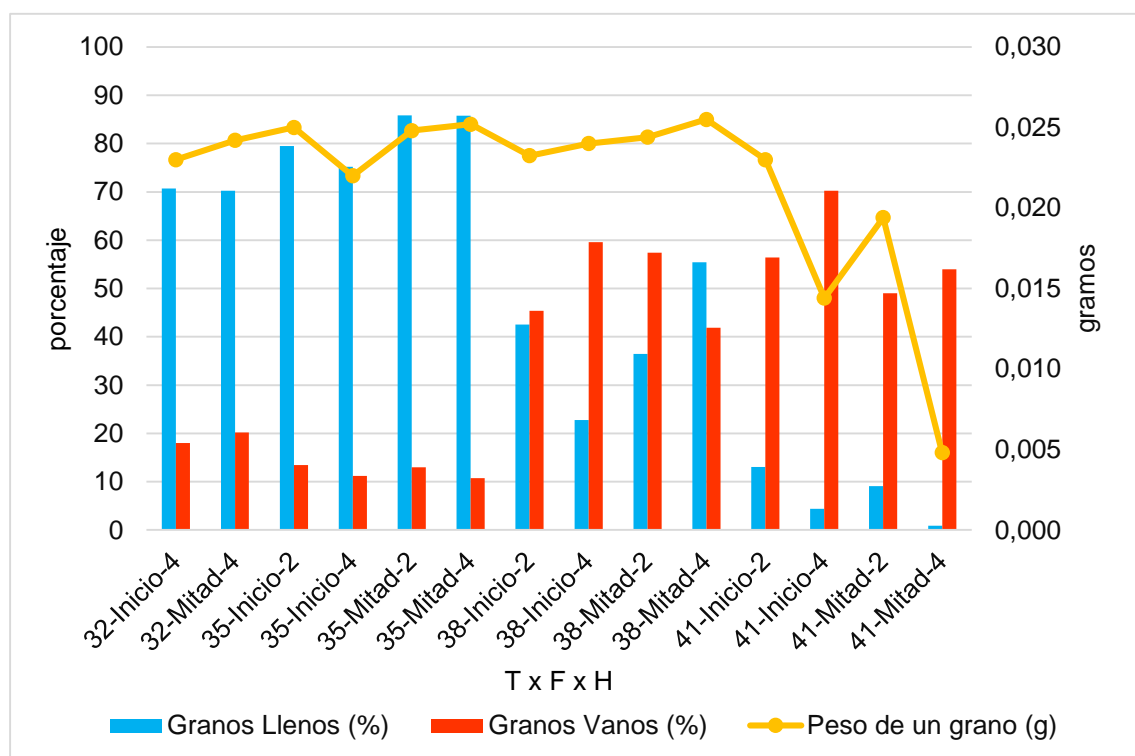
Figura 11. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano en la interacción Temperatura x Horas de exposición a altas temperaturas (T x H) en el material PV 48.



En la figura 12 se observa la comparación de los tres factores (T x F x H) donde a 35°C, con emergencia de la panícula a la mitad y un tiempo de exposición de 4 horas se obtiene un mayor peso de un grano (0,025 g), un mayor porcentaje de granos llenos (85,80%) y por lo tanto un porcentaje de vaneamiento menor (10,72%). Cuando la temperatura aumentó a 41°C en el inicio de la emergencia de la panícula y por un periodo de tiempo de 4 horas, el peso y llenado de grano queda entre los más bajos valores (0,014 g y 4,40% respectivamente) y el vaneamiento el más alto (70,22%).

Debido a que los datos estadísticos presentaron un alto coeficiente de variación para los granos inmaduros, se tomó la decisión de no tener en cuenta esta variable, debido a la poca confiabilidad en los resultados obtenidos.

Figura 12. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano en la interacción Temperatura x Estados de emergencia de la panícula x Horas de exposición a altas temperaturas (T x F x H) en el material PV 48.



Los resultados obtenidos en el presente estudio se encontró que en los dos materiales de arroz de la subespecie japónica, el porcentaje de granos llenos disminuye notoriamente cuando las plantas son sometidas a temperaturas de 38 y 41°C en la etapa de floración. Estos resultados confirman las investigaciones hechas por Stake y Yoshida (1978), y Cao (2009) quienes reportan reducción en la tasa de llenado de grano bajo condiciones de altas temperaturas (por encima de 38°C) en la floración. Cuando la temperatura ambiente está por encima de 38°C, se presentó un aumento en el vaneamiento del grano, esto puede ser causado según Chaudhary et al., (2003) por la esterilidad de las espiguillas inducidas por un estrés de alta temperatura (35°C o más).

Se presentó una disminución drástica en el peso del grano cuando las plantas fueron expuestas a temperaturas superiores a 38°C. Estos datos coinciden con los reportes realizados por Castilla en el 2010, donde se observa que las altas temperaturas inducen a un menor peso del grano. Este efecto según Mohammed y

Tarpley (2009), y Castilla et al, (2010), puede relacionarse con la aceleración del proceso de maduración, debido al aumento de la tasa de respiración causando el agotamiento de la reserva de sacáridos., cuando las plantas están expuestas a altas temperaturas, lo cual conduce a un menor peso y mala calidad del grano.

6. CONCLUSIONES

- Las plantas de arroz japónicas PV 36 y PV 48, mostraron ser materiales altamente influenciados por el factor temperatura en la época de antesis sobre las variables, peso de un grano, porcentaje de granos llenos y porcentaje de granos vanos. Esto es posible determinar dado que cuando las plantas estaban sometidas a una temperatura de 35°C se presentaron sus condiciones ideales para un buen peso de grano, un alto porcentaje de llenado de grano y un bajo vaneamiento. Cuando la temperatura ambiente aumento a 41°C se presenta el mayor porcentaje de vaneamiento, así como una disminución en el peso del grano y el porcentaje de granos llenos.
- Al estudiar la emergencia de la panícula podemos observar que este factor no es determinante para las variables relacionadas con la producción de la planta PV 48. Sin embargo el material PV 36 presento un comportamiento diferente entre el inicio y la mitad de la emergencia, siendo esta última una condición más favorable para un mayor llenado de grano y menor vaneamiento.
- El tiempo de exposición a las diferentes temperaturas no fue determinante en las variables evaluadas en los dos materiales japónicos, a excepción del material PV 48, siendo el peso de grano menor cuando el tiempo de exposición fue de 4 horas.
- El material PV 36 presenta un comportamiento diferente cuando la planta está en la época de floración. Según los resultados obtenidos podemos determinar que cuando la panícula está comenzando a emerger, la condición ideal para que la planta presente un buen peso y llenado de grano es a una temperatura de 32°C. Cuando la panícula se encuentra a la mitad de su emergencia es ideal que la temperatura en el ambiente se incremente a 35°C. Si la temperatura se sigue incrementando hasta llegar a los 41°C y la panícula se encuentra en su inicio de la emergencia se puede afectar negativamente llegando a producir un alto porcentaje de granos vanos. En el material PV 48 se puede observar que durante todo el periodo de floración la temperatura óptima para un mayor peso de grano y porcentaje de granos llenos es de 35°C, situación en la cual también se presentó un bajo porcentaje de vaneamiento. Si las condiciones ambientales cambian haciendo que la temperatura llegue a 41°C se afecta desfavorablemente la producción del grano disminuyendo drásticamente el peso del grano especialmente cuando esta alta temperatura se prolonga por un periodo mayor a 2 horas. Igualmente se disminuye el porcentaje de

granos llenos, así como se presenta un aumento en el porcentaje de granos vanos.

6.1. RECOMENDACIÓN

- Se sugiere a la empresa Semillano S.A.S. tener presente el material Pv 48 como línea promisorio ya que de los dos materiales de la subespecie japónica en estudio, éste presenta un mejor comportamiento (mayor porcentaje de granos llenos y menor vaneamiento.) en condiciones de estrés por altas temperaturas en la etapa de floración.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castilla, L. A., Pineda, D., Ospina, J., Echeverri, J., Perafán, R., Garcés, G., Sierra, J. y Díaz, A. (2010). Cambio climático y producción de arroz. *Revista arroz*, 58(489): 4-11.
- Chandler, R. F. (1979). *Rice in the tropics: A guide to the development of national programs*. International Agricultural Development Service. Colorado, EE.UU. Westview.
- Chaudhary, R.C., Nanda, J.S. y Tran, D.V. (2003). Guía para identificar las limitaciones de campo en la producción de arroz. Roma: Comisión internacional del arroz FAO. pp. 19-62. consulta: en 15 de abril de 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006/y2778s/y2778s04.htm#bm4>
- Counce, P. A., Keisling, T. C. and A. J. Mitchell. (2000). A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. *Crop Science*, 40: 436–443.
- Das, S., Krishnan, P., Nayak, M. and Ramakrishnan, B. (2014). High temperature stress effects on pollens of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *Environmental and Experimental Botany*, 101: 36–4
- Degiovanni, V., Berrío, L. y Charry, R. (2010). Capítulo 4: Origen, taxonomía, anatomía y morfología de la planta de arroz (*Oryza sativa* L.). En: Degiovanni, V., C. Martínez y F. Motta (Eds.) *Producción Eco-Eficiente del Arroz en América Latina*. Tomo I (pp. 35-59). Editado por CIAT, FLAR, UNICORDOBA.: Publicación CIAT N° 370. Cali, Colombia.
- Fageria, N. (2007). Yield physiology of rice. *Journal of Plant Nutrition* 30(6), 843-879.
- FEDEARROZ. (2010, Octubre, 5). Clave para mitigar los cambios de clima. La finca de hoy. Minuto 18:25. Disponible en: <http://www.caracol.tv/producciones/informativos/lafincadehoy/video-192661-nuevas-oportunidades-de-negocio>
- Fernández, F., Vergara, B., Yapit, N., García, O. (1985). Capítulo 3: Fisiología y nutrición. Crecimiento y etapas de desarrollo de la planta de arroz. En: Tascón, E. y E. García (eds.). *Arroz: investigación y producción*. (pp. 81-100). PNUD, Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.

FONTAGRO. (2011). Complejo Acaro Hongo Bacteria Nuevo Reto Para Arroceros Centroamericanos. Consulta: 13 de abril de 2015. Disponible en: http://www.fontagro.org/sites/default/files/stecnico/infotec_final_05_311.pdf

Hedhly, A., (2011). Sensitivity of flowering plant gametophytes to temperature fluctuations. *Environmental and Experimental Botany*, 74, 9–16.

ICA. (2011). Emergencia fitosanitaria por enfermedad que afecta cultivos de arroz. Consulta: 14 de abril de 2015. Disponible en: <http://www.ica.gov.co/Noticias/Agricola/2011/Emergencia-fitosanitaria-por-enfermedad-que-afecta.aspx>

IDEAM. Consulta: 25 de mayo de 2016. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turisticos2.pdf/cd4106e9-d608-4c29-91cc-16bee9151ddd>

Jagadish, S.V.K., Craufurd, P.Q. and Wheeler, T.R. 2007. High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Experimental Botany*, 58(7): 1627–1635.

Kobayasi, K. and Atsuta, Y. (2010). Sterility and poor pollination due to early flower opening induced by methyl jasmonate. *Plant Production Science*, 13(1): 29-36.

Liang, C. G., Chen, L. P., Wang, Y., Liu, J., Xu, G. L. and Li, T. (2011). High temperature at grain-filling stage affects nitrogen metabolism enzyme activities in grains and grain nutritional quality in rice. *Rice Science* 18(3): 210–216.

Linneo, C. (1753). *Species Plantarum*.

Mohammed, A.R. and Tarpley, L. (2009). High night-time temperatures affect rice productivity through altered pollen germination and spikelet fertility. *Agricultural and Forest Meteorology*. 149: 999-1008.

Olmos, S. (2006). *Apuntes de morfología, fenología, eco fisiología y mejoramiento genético del arroz*. Argentina. UNNE.

Peng, S., Huang, J., Sheehy, J., Laza, R., Visperas, R., Zhong, X., Centeno, G., Khush G. y Cassman, K. (2004). Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *PNAS*, 101(27): 9971-9975.

Prasad, P., Boote, K., Allen, L., Sheehy, J. y Thomas J. (2006). Species, ecotype and cultivar differences in spikelet fertility and harvest index of rice in response to high temperature stress. *Field Crops Research*, 95: 398-411.

Riveros, G. y Rodríguez. N. (2010). Capítulo 7: La fisiología de la planta y la productividad del cultivo. En: Degiovanni, V., Martínez C y Motta. F.

(eds.). Producción eco-eficiente del arroz en América Latina. Tomo I. (pp. 100-116). Editado por CIAT, FLAR, UNICORDOBA. Publicación CIAT N° 370. Cali, Colombia.

Salisbury, F. B. y Ross, C. W. (1994). Fisiología vegetal. (V. González, trad.). México. Grupo editorial iberoamericano. p. 290 (Traducción de la 4ª edición en inglés de 1992.)

Sayed, O.H. (2003). Chlorophyll fluorescence as a tool in cereal crop research. *Photosynthetica*, 41(3): 321-330.

Stake, T. and Yoshida, S. (1978). High temperature induced sterility in indica rices at flowering. *Japan. Jour. Crop Sci.* 47: 6-17.

Taiz, L. y Zeiger, E. (2006). Fisiología vegetal (3ra Ed.). Volumen 2: Fisiología del estrés. Castelló de la Plana. Publicacions de la Universitat Jaume-I. p. 1154. (Traducción de la 3ª edición en inglés de 2002.)

Tejada, F. A. (2004). Informe Técnico sobre el Vaneo del Arroz. El Limoncito, Angelina–Cotuí.

Vargas, José Patricio (2010). Capítulo 6: El arroz y su medio ambiente. En: Degiovanni, V., Martínez C y Motta. F. (eds.). Producción eco-eficiente del arroz en América Latina. Tomo I. (pp. 83-99). Editado por CIAT, FLAR, UNICORDOBA. Publicación CIAT N° 370. Cali, Colombia.

Yoshida, S. (1981). Fundamentals of rice crop science. Los Baños, Laguna, Philippines. International Rice Research Institute. p. 81, 82.

Yoshida, S. and Hara, T. (1977). Effects of air temperature and light on grain filling of an Indica and a Japonica rice (*Oryza sativa*) under controlled environmental conditions. *Soil Science and Plant Nutrition* 23(1):93-107.

ANEXOS

Anexo 1. Manejo del cultivo.



Siembra



Riego manual



Fertilización



Control de arvenses

Anexo 2. Estados de emergencia de la panícula y cámara de crecimiento vegetal



Inicio
Mitad
Estados de emergencia de la panícula.



Cámara de crecimiento vegetal

Anexo 3. Grano de arroz.



Lleno

Inmaduro

Vano

Anexo 4. Datos de las variables para el material PV 36.

T°	Emergencia	Horas de Exposición	Repetición	% Granos Llenos	% Granos Vanos	% Granos Inmaduros	Peso de un grano
35	INICIO	2	1	31,1	36,8	32,1	0,0235
35	INICIO	2	2	38,5	38,5	23,0	0,0236
35	INICIO	2	3	47,3	37,8	14,9	0,0250
35	INICIO	2	4	50,0	31,3	18,7	0,0237
35	INICIO	2	5	47,6	37,3	15,1	0,0217
35	MITAD	2	1	80,4	19,6	0,0	0,0271
35	MITAD	2	2	77,1	22,9	0,0	0,0283
35	MITAD	2	3	73,8	25,7	0,5	0,0295
35	MITAD	2	4	77,5	21,9	0,5	0,0267
35	MITAD	2	5	79,4	19,1	1,5	0,0277
38	INICIO	2	1	56,4	42,7	0,9	0,0235
38	INICIO	2	2	46,5	51,6	1,9	0,0242
38	INICIO	2	3	26,3	68,8	5,0	0,0280
38	INICIO	2	4	45,7	51,4	2,9	0,0290
38	INICIO	2	5	34,4	58,9	6,6	0,0244
38	MITAD	2	1	36,3	63,7	0,0	0,0239
38	MITAD	2	2	38,9	59,3	1,8	0,0246
38	MITAD	2	3	35,0	64,3	0,7	0,0235
38	MITAD	2	4	5,1	79,1	15,8	0,0247
38	MITAD	2	5	47,9	50,0	2,1	0,0242
41	INICIO	2	1	0,0	88,8	11,2	0,0000
41	INICIO	2	2	10,0	75,4	14,6	0,0194
41	INICIO	2	3	3,2	73,6	23,2	0,0183
41	INICIO	2	4	3,5	90,3	6,3	0,0182
41	INICIO	2	5	11,5	77,0	11,5	0,0191
41	MITAD	2	1	12,6	60,9	26,4	0,0195
41	MITAD	2	2	8,6	48,4	43,0	0,0180
41	MITAD	2	3	10,2	63,6	26,1	0,0156
41	MITAD	2	4	9,3	65,7	25,0	0,0190
41	MITAD	2	5	11,6	60,5	27,9	0,0153

Anexo 4. (Continuación)

T°	Emergencia	Horas de Exposición	Repetición	% Granos Llenos	% Granos Vanos	% Granos Inmaduros	Peso de un grano
35	INICIO	4	1	44,3	32,1	23,6	0,0252
35	INICIO	4	2	52,1	33,7	14,2	0,0242
35	INICIO	4	3	46,3	39,6	14,1	0,0275
35	INICIO	4	4	69,6	21,7	8,7	0,0252
35	INICIO	4	5	27,7	41,1	31,3	0,0239
35	MITAD	4	1	91,6	8,4	0,0	0,0275
35	MITAD	4	2	71,5	28,5	0,0	0,0303
35	MITAD	4	3	90,1	9,9	0,0	0,0253
35	MITAD	4	4	89,8	9,4	0,8	0,0274
35	MITAD	4	5	88,3	11,7	0,0	0,0282
38	INICIO	4	1	33,5	60,5	6,0	0,0258
38	INICIO	4	2	36,4	59,1	4,5	0,0258
38	INICIO	4	3	7,8	91,2	0,9	0,0233
38	INICIO	4	4	18,9	76,0	5,1	0,0258
38	INICIO	4	5	12,7	81,9	5,4	0,0286
38	MITAD	4	1	47,9	52,1	0,0	0,0231
38	MITAD	4	2	28,5	64,2	7,3	0,0258
38	MITAD	4	3	33,1	63,8	3,1	0,0235
38	MITAD	4	4	38,5	59,5	2,0	0,0255
38	MITAD	4	5	17,5	80,7	1,8	0,0251
41	INICIO	4	1	35,6	54,6	9,8	0,0214
41	INICIO	4	2	11,4	69,9	18,7	0,0190
41	INICIO	4	3	6,6	75,0	18,4	0,0169
41	INICIO	4	4	0,9	93,6	5,5	0,0153
41	INICIO	4	5	0,9	72,2	26,9	0,0175
41	MITAD	4	1	5,4	76,2	18,4	0,0190
41	MITAD	4	2	0,0	75,1	24,9	0,0000
41	MITAD	4	3	0,0	63,4	36,6	0,0000
41	MITAD	4	4	0,0	84,8	15,2	0,0000
41	MITAD	4	5	0,7	84,6	14,7	0,0121
32	INICIO	4	1	59,0	30,8	10,3	0,0227
32	INICIO	4	2	61,8	26,5	11,8	0,0244
32	INICIO	4	3	53,3	35,2	11,5	0,0258
32	INICIO	4	4	63,3	26,0	10,7	0,0239
32	INICIO	4	5	64,4	32,2	3,4	0,0233
32	MITAD	4	1	53,2	37,4	9,4	0,0250
32	MITAD	4	2	54,3	15,0	30,7	0,0256
32	MITAD	4	3	55,6	36,3	8,1	0,0255
32	MITAD	4	4	59,4	37,1	3,6	0,0250
32	MITAD	4	5	66,2	29,4	4,4	0,0232

Anexo 5. Datos de las variables para el material PV 48.

T°	Emergencia	Horas de Exposición	Repetición	% Granos Llenos	% Granos Vanos	% Granos Inmaduros	Peso de un grano
35	INICIO	2	1	84,1	15,9	0,0	0,02546
35	INICIO	2	2	78,7	9,8	11,6	0,02509
35	INICIO	2	3	72,7	21,0	6,3	0,02487
35	INICIO	2	4	79,3	9,9	10,8	0,02643
35	INICIO	2	5	82,7	10,6	6,7	0,02355
35	MITAD	2	1	82,9	16,5	0,6	0,02402
35	MITAD	2	2	87,1	11,0	1,8	0,02586
35	MITAD	2	3	92,0	8,0	0,0	0,02438
35	MITAD	2	4	84,8	15,2	0,0	0,02541
35	MITAD	2	5	82,5	14,1	3,4	0,02480
38	INICIO	2	1	31,5	57,7	10,8	0,02286
38	INICIO	2	2	56,8	32,8	10,4	0,02180
38	INICIO	2	3	69,1	22,4	8,6	0,02415
38	INICIO	2	4	12,8	68,6	18,6	0,02375
38	INICIO	2	5				
38	MITAD	2	1	29,1	51,3	19,7	0,02184
38	MITAD	2	2	39,3	58,7	2,0	0,02689
38	MITAD	2	3	43,9	56,1	0,0	0,02302
38	MITAD	2	4	32,5	61,0	6,5	0,02562
38	MITAD	2	5	37,5	59,8	2,7	0,02440
41	INICIO	2	1	10,0	58,6	31,4	0,02264
41	INICIO	2	2	28,2	49,7	22,1	0,02161
41	INICIO	2	3	11,5	70,1	18,5	0,02174
41	INICIO	2	4	3,6	54,4	42,0	0,02187
41	INICIO	2	5	12,1	49,3	38,6	0,02637
41	MITAD	2	1	11,3	48,1	40,6	0,01837
41	MITAD	2	2	10,5	49,1	40,4	0,01770
41	MITAD	2	3	11,5	60,6	27,9	0,02902
41	MITAD	2	4	6,5	48,6	44,9	0,01700
41	MITAD	2	5	5,7	38,6	55,7	0,01463

Anexo 5. (Continuación)

T°	Emergencia	Horas de Exposición	Repetición	% Granos Llenos	% Granos Vanos	% Granos Inmaduros	Peso de un grano
35	INICIO	4	1	48,5	8,9	42,6	0,02271
35	INICIO	4	2	93,3	4,8	1,9	0,02359
35	INICIO	4	3	72,9	16,9	10,2	0,01377
35	INICIO	4	4	79,6	12,0	8,3	0,02356
35	INICIO	4	5	81,8	13,5	4,7	0,02512
35	MITAD	4	1	85,7	10,5	3,8	0,02491
35	MITAD	4	2	91,2	8,8	0,0	0,02556
35	MITAD	4	3	92,7	4,8	2,4	0,02484
35	MITAD	4	4	86,7	12,3	0,9	0,02718
35	MITAD	4	5	72,7	17,2	10,1	0,02296
38	INICIO	4	1	28,2	69,1	2,7	0,02509
38	INICIO	4	2	35,2	61,1	3,7	0,02452
38	INICIO	4	3	17,3	60,4	22,3	0,02266
38	INICIO	4	4	24,3	53,8	22,0	0,02383
38	INICIO	4	5	8,8	53,5	37,7	0,02340
38	MITAD	4	1	63,4	36,6	0,0	0,02506
38	MITAD	4	2	23,2	67,6	9,2	0,02835
38	MITAD	4	3	54,9	44,6	0,5	0,02380
38	MITAD	4	4	80,3	18,8	0,9	0,02516
38	MITAD	4	5				
41	INICIO	4	1	2,6	64,7	32,7	0,01828
41	INICIO	4	2	10,8	52,5	36,7	0,01551
41	INICIO	4	3	0,0	90,1	9,9	0,00000
41	INICIO	4	4	2,6	92,9	4,5	0,01720
41	INICIO	4	5	6,0	50,9	43,1	0,02126
41	MITAD	4	1	0,0	30,9	69,1	0,00000
41	MITAD	4	2	0,0	47,3	52,7	0,00000
41	MITAD	4	3	4,5	62,2	33,3	0,02400
41	MITAD	4	4	0,0	61,9	38,1	0,00000
41	MITAD	4	5	0,0	67,5	32,5	0,00000
32	INICIO	4	1	71,7	14,5	13,8	0,02114
32	INICIO	4	2	64,8	21,8	13,3	0,02008
32	INICIO	4	3	63,2	23,2	13,6	0,02401
32	INICIO	4	4	63,6	23,2	13,2	0,02475
32	INICIO	4	5	90,2	7,3	2,4	0,02493
32	MITAD	4	1	73,3	15,8	10,9	0,02196
32	MITAD	4	2	68,5	16,9	14,6	0,02583
32	MITAD	4	3	67,3	31,0	1,8	0,02503
32	MITAD	4	4	83,3	16,0	0,6	0,02442
32	MITAD	4	5	73,9	21,1	5,0	0,02379

Anexo 6. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano con relación a las diferentes temperaturas en el material PV 36.

Factor Temperatura	Comparación de Medias					
	Peso de un grano (gr)		Granos Llenos (%)		Granos Vanos (%)	
	Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar
32	0,0244 a	0,0012	59,050 a	4,799	30,590 c	6,892
35	0,0260 a	0,0023	63,700 a	20,999	26,350 c	10,915
38	0,0251 a	0,0019	32,365 b	14,050	63,940 b	12,445
41	0,0141 b	0,0075	7,100 c	8,197	72,680 a	12,088

Medias con la misma letra en sentido vertical son estadísticamente iguales ($P \geq 0,05$ Duncan).

Anexo 7. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano con relación a los diferentes estados de emergencia de la panícula en el material PV 36.

Factor Emergencia	Comparación de Medias					
	Peso de un grano (gr)		Granos Llenos (%)		Granos Vanos (%)	
	Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar
Inicio	0,0224 a	0,0052	33,100 b	21,601	54,660 a	21,952
Mitad	0,0218 a	0,0079	42,723 a	31,389	47,206 b	24,327

Medias con la misma letra en sentido vertical son estadísticamente iguales ($P \geq 0,05$ Duncan).

Anexo 8. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano con relación a las diferentes horas de exposición a altas temperaturas en el material PV 36.

Factor Tiempo	Comparación de Medias					
	Peso de un grano (gr)		Granos Llenos (%)		Granos Vanos (%)	
	Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar
2	0,0223 a	0,0058	35,190 b	25,572	52,830 a	20,560
4	0,0220 a	0,0073	39,953 a	28,479	49,510 a	25,333

Medias con la misma letra en sentido vertical son estadísticamente iguales ($P \geq 0,05$ Duncan).

Anexo 9. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano en la interacción Temperatura x Estado de emergencia de la panícula (T x F) en el materia PV 36.

Interacción		Comparación de Medias					
T x F		Peso de un grano (gr)		Granos Llenos (%)		Granos Vanos (%)	
		Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar
32	Inicio	0,024	0,0012	60,36	4,437	30,14	3,895
32	Mitad	0,0248	0,0011	57,74	5,276	31,04	9,550
35	Inicio	0,0244	0,0016	45,45	11,679	34,99	5,654
35	Mitad	0,0277	0,0015	81,95	7,374	17,71	7,327
38	Inicio	0,0258	0,0023	31,86	15,573	64,21	15,112
38	Mitad	0,0245	0,0011	32,87	13,177	63,67	9,922
41	Inicio	0,0164	0,0060	8,36	10,532	77,04	11,475
41	Mitad	0,0119	0,0085	5,84	5,232	68,32	11,600

Anexo 10. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano en la interacción Temperatura x Estado de emergencia de la panícula x horas de exposición a altas temperaturas (T x F x H) en el materia PV 36.

Interacción			Comparación de Medias					
T x F x H			Peso de un grano (gr)		Granos Llenos (%)		Granos Vanos (%)	
			Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar
32	Inicio	4	0,0240	0,0012	60,36	4,437	30,14	3,895
32	Mitad	4	0,0248	0,0011	57,74	5,276	31,04	9,550
35	Inicio	2	0,0236	0,0011	42,90	7,913	36,34	2,887
35	Inicio	4	0,0252	0,0016	48,00	15,100	33,64	7,683
35	Mitad	2	0,0280	0,0012	77,64	2,538	21,84	2,672
35	Mitad	4	0,0274	0,0018	86,26	8,334	13,58	8,426
38	Inicio	2	0,0256	0,0027	41,86	11,677	54,68	9,759
38	Inicio	4	0,0260	0,0021	21,86	12,622	73,74	13,840
38	Mitad	2	0,0242	0,0008	32,64	16,198	63,28	10,532
38	Mitad	4	0,0248	0,0013	33,10	11,322	64,06	10,498
41	Inicio	2	0,0148	0,0083	5,64	4,891	81,02	7,897
41	Inicio	4	0,0180	0,0022	11,08	14,393	73,06	13,939
41	Mitad	2	0,0176	0,0021	10,46	1,640	59,82	6,725
41	Mitad	4	0,0062	0,0088	1,22	2,356	76,82	8,770

Anexo 11. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano en la interacción Temperatura x Horas de exposición a altas temperaturas (T x H) en el materia PV 36.

Interacción		Comparación de Medias					
T x H		Peso de un grano (gr)		Granos Llenos (%)		Granos Vanos (%)	
		Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar
32	4	0,0244	0,0012	59,05	4,799	30,59	6,892
35	2	0,0258	0,0026	60,27	19,129	29,09	8,080
35	4	0,0263	0,0020	67,13	23,213	23,61	13,022
38	2	0,0249	0,0020	37,25	14,171	58,98	10,591
38	4	0,0254	0,0018	27,48	12,762	68,9	12,655
41	2	0,0162	0,0059	8,05	4,276	70,42	13,140
41	4	0,0121	0,0087	6,15	11,025	74,94	11,156

Anexo 12. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano con relación a las diferentes temperaturas en el material PV 48.

Factor		Comparación de Medias					
Temperatura		Peso de un grano (gr)		Granos Llenos (%)		Granos Vanos (%)	
		Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar
32		0,0242 a	0,0020	71,980 b	8,810	19,080 b	6,431
35		0,0242 a	0,0026	81,595 a	10,003	12,085 b	4,220
38		0,0236 a	0,0016	38,228 c	19,786	51,883 a	15,040
41		0,0154 b	0,0097	6,870 d	6,783	57,400 a	15,029

Medias con la misma letra en sentido vertical son estadísticamente iguales ($P \geq 0,05$ Duncan).

Anexo 13. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano con relación a los diferentes estados de emergencia de la panícula en el material PV 48.

Factor		Comparación de Medias					
Emergencia		Peso de un grano (gr)		Granos Llenos (%)		Granos Vanos (%)	
		Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar
Inicio		0,0221 a	0,0048	44,074 a	32,127	38,997 a	25,725
Mitad		0,0211 a	0,0084	49,374 a	34,534	34,956 a	21,083

Medias con la misma letra en sentido vertical son estadísticamente iguales ($P \geq 0,05$ Duncan).

Anexo 14. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano con relación a las diferentes horas de exposición a altas temperaturas en el material PV 48.

Factor	Comparación de Medias					
	Peso de un grano (gr)		Granos Llenos (%)		Granos Vanos (%)	
	Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar
2	0,0233 a	0,0031	44,490 a	32,054	38,879 a	21,249
4	0,0203 b	0,0084	48,385 a	34,363	35,562 a	25,110

Medias con la misma letra en sentido vertical son estadísticamente iguales ($P \geq 0,05$ Duncan)

Anexo 15. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano en la interacción Temperatura x Estados de emergencia de la panícula (T x F) en el materia PV 48.

Interacción		Comparación de Medias					
		Peso de un grano (gr)		Granos Llenos (%)		Granos Vanos (%)	
		Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar
32	Inicio	0,0230	0,0023	70,70	11,432	18,00	6,987
32	Mitad	0,0242	0,0015	73,26	6,313	20,16	6,429
35	Inicio	0,0235	0,0034	77,36	11,704	12,33	4,643
35	Mitad	0,0250	0,0012	85,83	5,865	11,84	3,988
38	Inicio	0,0237	0,0010	31,56	19,990	53,27	15,771
38	Mitad	0,0249	0,0019	44,90	18,224	50,50	15,088
41	Inicio	0,0187	0,0072	8,74	8,091	63,32	16,314
41	Mitad	0,0121	0,0111	5,00	4,890	51,48	11,526

Anexo 16. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano en la interacción Temperatura x Horas de exposición a altas temperaturas (T x H) en el materia PV 48.

Interacción			Comparación de Medias					
			Peso de un grano (gr)		Granos Llenos (%)		Granos Vanos (%)	
			Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar
32	4	0,0236	0,0020	71,98	8,810	19,08	6,431	
35	2	0,0249	0,0007	82,68	5,162	13,20	4,013	
35	4	0,0236	0,0036	80,51	13,490	10,97	4,328	
38	2	0,0239	0,0017	39,17	16,324	52,04	14,819	
38	4	0,0247	0,0015	37,29	23,736	51,72	16,156	
41	2	0,0210	0,0043	11,09	6,683	52,71	8,649	
41	4	0,0100	0,0104	2,65	3,593	62,09	18,793	

Anexo 17. Comparación de medias del porcentaje de granos llenos, porcentaje de granos vanos y peso de un grano en la interacción Temperatura x Estados de emergencia de la panícula x Horas de exposición a altas temperaturas (T x F x H) en el material PV 48

Interacción			Comparación de Medias					
T x F x H			Peso de un grano (gr)		Granos Llenos (%)		Granos Vanos (%)	
			Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar
32	Inicio	4	0,0230	0,0023	70,70	11,432	18,00	6,987
32	Mitad	4	0,0242	0,0015	70,26	6,313	20,16	6,429
35	Inicio	2	0,0250	0,0007	79,50	4,425	13,44	4,926
35	Inicio	4	0,0220	0,0045	75,22	16,649	11,22	4,601
35	Mitad	2	0,0248	0,0008	85,86	3,886	12,96	3,438
35	Mitad	4	0,0252	0,0015	85,80	7,893	10,72	4,563
38	Inicio	2	0,0233	0,0010	42,55	25,266	45,38	21,427
38	Inicio	4	0,0240	0,0010	22,76	10,142	59,58	6,403
38	Mitad	2	0,0244	0,0021	36,46	5,796	57,38	3,851
38	Mitad	4	0,0255	0,0017	55,45	23,952	41,90	20,244
41	Inicio	2	0,0230	0,0017	13,08	9,103	56,42	8,541
41	Inicio	4	0,0144	0,0083	4,40	4,164	70,22	20,170
41	Mitad	2	0,0194	0,0055	9,10	2,778	49,00	7,805
41	Mitad	4	0,0048	0,0107	0,90	2,012	53,96	14,920